ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 31 OCTOBRE 1960.

PRÉSIDENCE DE M. ÉMILE-GEORGES BARRILLON.

CORRESPONDANCE, OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS.

M. **Vincenzo Arangio-Ruiz**, Vice-Président de la « Accademia nazionale dei Lincei », informe l'Académie que la cérémonie organisée à l'occasion du centième anniversaire de la naissance de **Vito Volterra** aura lieu au Palais Corsini, à Rome, le samedi 19 novembre 1960.

L'Académie est invitée à se faire représenter aux cérémonies qui auront lieu à New Delhi, du 29 décembre 1960 au 2 janvier 1961, à l'occasion du vingt-cinquième anniversaire de la fondation du **National Institute of sciences of India**.

M. **Georges Bouligand** fait hommage d'un fascicule intitulé : *La première phase de l'évolution ensembliste du problème de Dirichlet* (*A la mémoire de Florin Vasilesco*).

Les Ouvrages suivants sont adressés en hommage à l'Académie :

— par M. **Alexandre Dauvillier**, le texte d'une Conférence donnée le 21 mai 1960 au Palais de la Découverte, intitulée : *Le soleil et la terre. La théorie oscillatoire de l'activité solaire. Les relations entre les phénomènes solaires et terrestres*;

— par M. **Henri Besairie**, un Mémoire intitulé : *La recherche géologique à Madagascar de 1948 à 1958.*

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Georges Amsel, Pierre Baruch et Olgierd Smulkowski : *Détecteur de particules lourdes à jonction n — p au silicium* et *High resolution study of nuclear reactions by p — n junction detectors.* [Ces Mémoires constituent le développement de Notes parues dans les *Comptes rendus* (1).]

2° Les Conférences du Palais de la Découverte. *Pierre-Louis Moreau de Maupertuis* (1698-1759) *pour le bicentenaire de sa mort*, par M. P.-L. Maillet.

3° Id. *Jean Fernel et les problèmes de la médecine de la Renaissance*, par M. Jacques Roger.

4° Id. *La philosophie de l'algèbre de Lagrange* (*Réflexions sur le Mémoire de* 1770-1771), par M. J. Vuillemin.

5° Id. *Les nouveaux traitements du diabète*, par M. Auguste Loubatières.

6° Id. *Un mélange d'Algèbre et de statistique : le plan d'expériences*, par M. Daniel Dugué.

7° Id. *L'évolution de la notion de composé défini dans la chimie moderne*, par M. J. Bénard.

8° Id. *Quelques problèmes biologiques de la radioactivité alimentaire*, par M. Georges Cuvier.

9° *Physikertagung Berlin.* Hauptvorträge der Jahrestagung 1959 des Verbandes deutscher physikalischer Gesellschaften, herausgegeben, von E. Brüche.

10° Evgeniï Konstantinovitch Lazarenko. *Kours mineralogii.* II.

11° *Renal tubular handling and diuretic effect of mercurial diuretics. A study in the Chicken*, par Dag Campbell (Thèse, Uppsala).

12° *A search for faint blue stars.* XXI. *Proper motions for* 150 *faint stars*, by Willem J. Luyten.

13° Geological survey (U. S. A.). *A primer on water*, par Luna B. Leopold et Walter B. Langbein.

DÉLÉGATIONS.

M. **Albert Caquot** est désigné à nouveau pour faire partie du Conseil d'administration du Palais de la Découverte pour une nouvelle période triennale.

(1) 250, 1960, p. 1468 et 251, 1960, p. 350.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

PRÉSENTÉS OU TRANSMIS PAR LES MEMBRES ET CORRESPONDANTS.

ALGÈBRE. — *A propos de la localisation des zéros des polynomes.* Note (*) de M. **Maurice Parodi**, présentée par M. Henri Villat.

Considérons le polynome lacunaire

$$P(z) = z^n + a_p z^{n-p} + \ldots + a_{n-1} z + a_n.$$

Nous avons montré (¹) que ses zéros se situaient dans le domaine Ω, réunion du disque

$$|z| \leqq 1$$

et de la région définie par l'inégalité

$$|z^p + a_p| \leqq \sum_{k=p+1}^{n} |a_k|.$$

Envisageons maintenant le polynome

$$f(z) : \quad z^n + a_1 z^{n-1} + \ldots + a_{n-1} z + a_n.$$

Nous savons que ses zéros se situent dans le domaine (D) réunion des deux disques

$$|z| \leqq 1,$$

$$|z + a_1| \leqq \sum_{k=2}^{n} |a_k|.$$

Il est possible de déduire du résultat rappelé en premier lieu un procédé qui permet d'améliorer la localisation précédente des zéros de $f(z)$.

Écrivant

$$f(z) : \quad z^n + z^{n-2}(a_1 z + a_2) + a_3 z^{n-3} + \ldots + a_n,$$

une méthode calquée sur celle utilisée pour définir le domaine Ω, permet de montrer que les zéros de $f(z)$ se situent dans la réunion (D′) du disque

$$|z| \geqq 1$$

et de l'ovale de Cassini

$$|z^2 + a_1 z + a_2| \leqq \sum_{k=3}^{n} |a_k|.$$

Précisons ce résultat par un exemple.

Soit

$$f(z) : \quad z^6 + 2z^5 + z^4 + 3z^3 + 2z^2 + 2z + 2.$$

Le domaine (D) est défini par les inégalités

$$|z| \leq 1,$$
$$|z+2| \leq 10;$$

quant au domaine (D′) il est défini par les relations

$$|z| \leq 1,$$
$$|z^2+2z+1| \leq 9,$$

soit

$$|z| \leq 1,$$
$$|z+1| \leq 3.$$

L'amélioration de la localisation est notable.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 391 et 908.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Une construction d'espaces d'interpolation.* Note (*) de M. **Jacques-Louis Lions**, présentée par M. Jacques Hadamard.

On donne une construction assez générale d'espaces ayant la propriété d'interpolation par rapport aux applications linéaires (*cf.* th. 1 ci-après); exemples.

1. Soient A_0 et A_1 deux espaces de Banach, contenus dans un même espace vectoriel topologique $\mathcal{A}$, les injections de A_i dans $\mathcal{A}$ étant continues; on désigne par $\| \ \|_{A_i}$ la norme dans A_i, $i = 0, 1$. On introduit $A_0 + A_1 \subset \mathcal{A}$, espace de Banach pour la norme

$$\| a \|_{A_0+A_1} = \inf_{a=a_0+a_1} (\| a_0 \|_{A_0} + \| a_1 \|_{A_1}).$$

On désigne par $\mathcal{H}(A_0, A_1)$ l'espace des fonctions $\zeta = \xi + i\eta \to f(\zeta)$ holomorphes dans $0 < \xi < 1$ à valeurs dans $A_0 + A_1$, continues et bornées dans $0 \leq \xi \leq 1$ à valeurs dans $A_0 + A_1$, telles que $f(i\eta) \in A_0$, $f(1 + i\eta) \in A_1$ avec

$$(1) \qquad \| f \|_{\mathcal{H}(A_0, A_1)} = \max\left[\sup_{\eta} \| f(i\eta) \|_{A_0}, \sup_{\eta} \| f(1+i\eta) \|_{A_1}\right] < \infty.$$

Muni de la norme (1), $\mathcal{H}(A_0, A_1)$ est un espace de Banach.

Pour $f \in \mathcal{H}(A_0, A_1)$, posons

$$(2) \qquad Lf = \int_0^1 f(\xi)\, d\nu(\xi),$$

où $d\nu$ est une mesure sur $[0, 1]$ ou une distribution sur $]0, 1[$ à support compact. On définit ainsi une application $f \to Lf$ linéaire continue de $\mathcal{H}(A_0, A_1)$ dans $A_0 + A_1$. *On désigne par* $[A_0, A_1; \nu]$ l'image de $\mathcal{H}(A_0, A_1)$ *dans cette application, munie de la norme*

$$(3) \qquad \| a \|_{[A_0, A_1; \nu]} = \inf_{Lf=a} \| f \|_{\mathcal{H}(A_0, A_1)},$$

qui en fait un espace de Banach.

Soit $B_0, B_1, \mathcal{B}$ un deuxième triplet d'espaces ayant des propriétés analogues au triplet $A_0, A_1, \mathcal{A}$. Supposons en outre que $A_0 \cap A_1$ est dense dans A_0 et dans A_1.

Soit Π un opérateur linéaire de $A_0 \cap A_1$ dans $B_0 \cap B_1$, prolongeable par continuité en un opérateur linéaire continu de A_0 (resp. A_1) dans B_0 (resp. B_1), de norme ϖ_0 (resp. ϖ_1). On écrira

$$(4) \qquad \Pi \in \mathcal{L}(A_0; B_0) \cap \mathcal{L}(A_1; B_1).$$

Notons que Π est alors prolongeable par continuité en un opérateur linéaire continu de $A_0 + A_1$ dans $B_0 + B_1$. Ceci posé :

Théorème 1. — *Si* Π *vérifie* (4), *c'est également un opérateur linéaire continu de* $[A_0, A_1, \nu]$ *dans* $[B_0, B_1, \nu]$, *de norme* $\leq \max(\varpi_0, \varpi_1)$.

THÉORÈME 2. — *Si dans le théorème 1, on prend* $\nu = \delta(\theta)$, *masse de Dirac au point* $\theta \in]0, 1[$, *la norme de* Π *considéré de* $[A_0, A_1, \nu]$ *dans* $[B_0, B_1, \nu]$ *est* $\leq \varpi_0^{1-\theta}\, \varpi_1^{\theta}$.

THÉORÈME 3. — *Si* $A_0 \subset A_1$, $B_0 \subset B_1$ (*les injections étant continues*) *et si* $a, b \to K(a, b)$ *est une application bilinéaire continue* de $A_1 \times B_1 \to C_1$ *et de* $A_0 \times B_0 \to C_0$ (C_0, C_1, $\mathcal{C}$ troisième triplet comme A_0, A_1, $\mathcal{A}$), *alors* $a, b \to K(a, b)$ *est une application bilinéaire continue de*

$$[A_0, A_1, \delta(\theta)] \times [B_0, B_1, \delta(\theta)] \quad \textit{dans}\ [C_0, C_1, \delta(\theta)].$$

2. *Variantes.* — 1° On désigne par $\mathcal{H}^{(m)}(A_0, A_1)$ l'espace des fonctions $f(\zeta)$ telles que $f, f', \ldots, f^{(m)} \in \mathcal{H}(A_0, A_1)$, muni de la norme naturelle. On introduit les espaces $[A_0, A_1, \nu]_{(m)}$ obtenus en considérant l'image par l'application (2) de $\mathcal{H}^{(m)}(A_0, A_1)$ dans $A_0 + A_1$ et muni de la norme analogue à (3). Avec cette notation :

$$[A_0, A_1, \nu]_{(0)} = [A_0, A_1, \nu].$$

On a pour ces espaces un théorème analogue au théorème 1. *Les espaces* $[A_0, A_1, \delta(\theta)]_{(m)}$ *ont des propriétés analogues à celles du théorème* 3.

Notons ceci :

$$[A_0, A_1, \delta(\theta)]_{(m)} \subset [A_0, A_1, \delta(\theta)]_{(m-1)} \subset \ldots \subset [A_0, A_1, \delta(\theta)]$$
$$\subset [A_0, A_1, \delta'(\theta)] \subset \ldots \subset [A_0, A_1, \delta^{(m)}(\theta)] \subset \ldots,$$

les injections étant continues.

2° Soit une famille de $n + 1$ espaces de Banach $A_0, \ldots, A_n$, tous contenus dans un même espace $\mathcal{A}$. On introduit $\mathcal{H}(A_0, \ldots, A_n)$, espace des fonctions $f(\zeta, \ldots, \zeta_n)$ holomorphes dans $P = \{\xi_j > 0, \xi_1 + \ldots + \xi_n < 1\}$, à valeurs dans $A_0 + \ldots + A_n$, continues et bornées dans $\bar{P}$ à valeurs dans $A_0 + \ldots + A_n$, telles que

$$f(i\eta_1, \ldots, i\eta_n) \in A_0, \quad f(1 + i\eta_1, i\eta_2, \ldots, i\eta_n) \in A_1, \quad \ldots, \quad f(i\eta_1, \ldots, i\eta_{n-1}, 1 + i\eta_n) \in A_n$$

et demeurent dans des bornés de ces espaces. On construit alors les espaces $[A_0, \ldots, A_n, \nu]$, où cette fois ν est une mesure sur $\bar{P}$ ou une distribution à support compact dans P. On a des résultats analogues aux précédents.

3° Tout ceci s'étend au cas où les A_j sont des espaces vectoriels topologiques localement convexes quelconques.

4° On peut également remplacer dans les définitions précédentes le mot « borné » par « à croissance convenable à l'infini »; on peut également interpoler par rapport à des opérateurs $\Pi(\zeta)$ dépendant (convenablement) de ζ [1].

3. *Exemples.* — Si $A_0 = L^{p_0}$, $A_1 = L^{p_1}$, alors

$$[A_0, A_1, \delta(\theta)] = L^{p(\theta)}, \qquad \text{où} \quad \frac{1}{p(\theta)} = \frac{1-\theta}{p_0} + \frac{\theta}{p_1}$$

avec identité des normes; le théorème 2 redonne alors le théorème de Riesz-Thorin. Si $A_2 = L^{p_2}$, alors

$$[A_0, A_1 A_2, \delta(\theta_1, \theta_2)] = L^{p(\theta_1, \theta_2)}, \qquad \text{où} \quad \frac{1}{p(\theta_1, \theta_2)} = \frac{1-\theta_1-\theta_2}{p_0} + \frac{\theta_1}{p_1} + \frac{\theta_2}{p_2}.$$

Si $A_0 = L^p_{M_0}$, $A_1 = L^p_{M_1}$ (espaces L^p pour les mesures $M_i d\mu$, $M_i > 0$ localement μ-intégrable), alors

$$[A_0, A_1, \delta(\theta)] = L^p_{M_0^{1-\theta} M_1^{\theta}} \quad (^2),$$

$$[A_0, A_1, \delta^{(m)}(\theta)] = L^p_{X_m}, \qquad \text{où} \quad X_m = M_0^{1-\theta} M_1^{\theta} \left(1 + \left|\operatorname{Log}\frac{M_1}{M_0}\right|^m\right)^{-p},$$

$$[A_0, A_1, \delta(\theta)]_{(m)} = L^p_{Y_m}, \qquad \text{où} \quad Y_m = M_0^{1-\theta} M_1^{\theta} \left(1 + \left|\operatorname{Log}\frac{M_1}{M_0}\right|^m\right)^{p}.$$

Si $H^{\alpha,p}(R^n) = H^{\alpha,p}$, α réel, $1 < p < \infty$, désigne l'espace des distributions tempérées ([3]) f telles que $(1 + y^2)^{\alpha/2} \mathcal{F} f \in \mathcal{F} L^p$ ([4]) avec la norme $\| \mathcal{F}^{-1} (1 + y^2)^{\alpha/2} \mathcal{F} f \|_{L^p}$, et si $A_0 = H^{\alpha_0, p}$, $A_1 = H^{\alpha_1, p}$, on a

$$[A_0, A_1, \delta(\theta)] = H^{\alpha(\theta), p}, \qquad \alpha(\theta) = (1-\theta)\alpha_0 + \theta\alpha_1;$$

$[A_0, A_1, \delta^{(m)}(\theta)]$ est l'espace des f telles que

$$(5) \qquad (1 + \operatorname{Log}(1+y^2))^{-m} (1+y^2)^{\frac{\alpha(\theta)}{2}} \mathcal{F} f \in \mathcal{F} L^p,$$

et $[A_0, A_1, \delta(\theta)]_{(m)}$ s'obtient en remplaçant dans (5) m par $-m$. Si $A_0 = H^{\alpha_0, p_0}$, $A_1 = H^{\alpha_1, p_1}$, $\infty > p_0 > p_1 > 1$, alors $[A_0, A_1, \delta(\theta)] \subset H^{\alpha(\theta), p(\theta)}$, avec l'injection continue (il est possible qu'il y ait égalité) ([5]).

(*) Séance du 24 octobre 1960.

([1]) A. Zygmund, *Trigonometrical series*, chap. XII, vol. 2, Cambridge University Press, 1959.

([2]) Le théorème 2 donne alors E. M. Stein, *Trans. Amer. Math. Soc.*, 83, 1956, p. 482-492; E. M. Stein et G. Weiss, *Trans. Amer. Math. Soc.*, 87, 1958, p. 159-172.

([3]) Schwartz, *Théorie des distributions*, II, Hermann, 1951.

([4]) $\mathcal{F}$ désigne la transformation de Fourier.

([5]) On retrouve aussi le théorème d'interpolation dans les espaces de Hilbert : Lions, *Bull. Math. Soc. Sc. Math. Phys. Roumanie*, 50, 1958, p. 419-432; N. Aronszajn, *Conférence de Berkeley*, avril 1960; S. G. Krein, *Doklady*, 130, 1959, p. 1162-1165. Pour des méthodes *réelles cf.* E. Gagliardo, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 1912, 3388 et 3517; *Ricerche di Matem.*, 9, 1960, p. 58-81; J. L. Lions, *loc. cit.* et *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2259; 250, 1960, p. 2104; *Annali di Pisa*, 13, 1959, p. 389-403.

([6]) *Note ajoutée à la correction des épreuves.* — Les espaces $[A_0, A_1, \nu]$ correspondant à $\nu = \delta(\theta)$ ont été introduits indépendamment par A. P. Caldéron (*Intermediate spaces and interpolation*, Varsovie, septembre 1960). Cet auteur n'introduit pas $[A_0, A_1, \nu]$ pour $\nu \neq \delta(\theta)$, mais obtient dans la direction du 2, 4°, des résultats que nous n'avions pas obtenus (Caldéron, *loc. cit.*, n° 2).

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Solutions périodiques des systèmes généraux à retardement dans le cas de la résonance.* Note (*) de M. **Aristide Halanay**, présentée par M. Paul Montel.

Condition nécessaire et suffisante pour l'existence de solutions périodiques du système non homogène dans le cas où le système homogène correspondant admet des solutions périodiques.

1. Soit le système

$$(1) \qquad \dot{x}(t) = \int_{-\infty}^{0} x(t+s)\, d_s \eta(t, s) + f(t)$$

avec les mêmes hypothèses que dans (¹).

Si $x(t)$ est une solution du système, on a

$$x(t) = x(\sigma)\,\mathrm{Y}(\sigma, t) + \int_{\sigma-\tau}^{\sigma} x(s)\, ds \int_{\sigma}^{\sigma+\tau} \eta(\alpha, s-\alpha)\,\mathrm{Y}(\alpha, t)\, d\alpha + \int_{\sigma}^{t} f(\alpha)\,\mathrm{Y}(\alpha, t)\, d\alpha.$$

La condition nécessaire et suffisante de périodicité de la solution $x(t)$ est

$$(2) \qquad \varphi(s) - \varphi(0)\,\mathrm{Y}(0, \omega+s) - \int_{-\tau}^{0} \varphi(\beta)\, d\beta \int_{-\tau}^{0} \eta(\alpha+\tau, \beta-\alpha-\tau)\,\mathrm{Y}(\alpha+\tau, \omega+s)\, d\alpha$$
$$= \int_{0}^{\omega+s} f(\alpha)\,\mathrm{Y}(\alpha, \omega+s)\, d\alpha,$$

où $\varphi(s)$ est la fonction initiale de $x(t)$, définie sur $[-\tau, 0]$.

Considérons le système adjoint

$$(3) \qquad y(\alpha) + \int_{-\infty}^{0} \eta(\alpha-\gamma, \gamma)\, y(\alpha-\gamma)\, d\gamma = \mathrm{Cte}.$$

Si l'on observe que $\eta(t, s) \equiv 0$ pour $s \geqq 0$ et $s \leqq -\tau$, (3) devient

$$y(\alpha) + \int_{\alpha}^{\sigma} \eta(\beta, \alpha-\beta)\, y(\beta)\, d\beta$$
$$= y(\sigma) + \int_{\sigma}^{\sigma+\tau} \eta(\beta, \sigma-\beta)\, y(\beta)\, d\beta - \int_{\sigma}^{\alpha+\tau} \eta(\beta, \alpha-\beta)\, y(\beta)\, d\beta.$$

On voit que, si l'on donne la solution sur $[\sigma, \sigma+\tau]$, elle est déterminée pour $\alpha < \sigma$ par un système d'équations intégrales de Volterra, ce qui permet de formuler des théorèmes d'existence et d'unicité pour le système (3).

Soit $y(t)$, une solution de (3), définie pour $t \leqq \sigma + \tau$ et $\mathrm{X}(\alpha, \gamma)$, une matrice dont les lignes représentent comme fonctions de α des solutions

du système (1) pour $f \equiv 0$, telles que $X(\alpha, \gamma) \equiv 0$ pour $\alpha < \gamma$, $X(\gamma, \gamma) = E$. On a

$$y(t) = X(\sigma, t)\, y(\sigma) + \int_{-\infty}^{\sigma} X(\beta, t)\, d\beta \int_{\sigma}^{\infty} \eta(\alpha, \beta - \alpha)\, y(\alpha)\, d\alpha$$

$$= X(\sigma, t)\, y(\sigma) + \int_{\sigma-\tau}^{\sigma} X(\beta, t)\, d\beta \int_{\sigma}^{\sigma+\tau} \eta(\alpha, \beta - \alpha)\, y(\alpha)\, d\alpha$$

$$= Y(t, \sigma)\, y(\sigma) + \int_{\sigma-\tau}^{\sigma} Y(t, \beta)\, d\beta \int_{\sigma}^{\sigma+\tau} \eta(\alpha, \beta - \alpha)\, y(\alpha)\, d\alpha.$$

Soit ψ, la fonction initiale de la solution $y(t)$, donnée sur $[\omega, \omega + \tau]$, et $\tilde{\varphi}(s) = \psi(s + \omega + \tau)$. Alors la solution $y(t)$ sera périodique de période ω si et seulement si $\tilde{\varphi}(s)$ vérifie l'équation

$$(4) \quad \tilde{\varphi}(s) - Y(s+\tau, \omega)\, \tilde{\varphi}(-\tau) - \int_{-\tau}^{0} Y(s+\tau, \omega+\beta)\, d\beta \int_{-\tau}^{0} \eta(\gamma+\tau, \beta-\gamma-\tau)\, \tilde{\varphi}(\gamma)\, d\gamma = 0.$$

Par l'étude directe des équations (2) et (4), on prouve que les équations (2) pour $f \equiv 0$ et (4) ont le même nombre de solutions indépendantes et que la condition nécessaire et suffisante de l'existence des solutions de l'équation (2) est

$$\int_{0}^{\omega} f(\alpha)\, Y(\alpha, \omega)\, \tilde{\varphi}_k(-\tau)\, d\alpha + \int_{-\tau}^{0} \left(\int_{0}^{\omega+\beta} f(\alpha)\, Y(\alpha, \omega+\beta)\, da \right) d\beta \int_{-\tau}^{0} \eta(\alpha+\tau, \beta-\alpha-\tau)\, \tilde{\varphi}_k(\alpha)\, d\alpha = 0$$

pour toutes les solutions indépendantes $\tilde{\varphi}$ de (4).

Cette dernière condition s'écrit

$$\int_{0}^{\omega} f(\alpha)\, y_k(\alpha)\, d\alpha = 0,$$

où $y_k(t)$ est la solution périodique du système (3) définie par la fonction initiale $\psi_k(t) = \tilde{\varphi}_k(t - \tau - \omega)$. Donc :

Théorème. — *La condition nécessaire et suffisante pour l'existence de solutions périodiques du système* (1) *est*

$$\int_{0}^{\omega} f(\alpha)\, y_k(\alpha)\, d\alpha = 0$$

pour toutes les solutions périodiques indépendantes du système (3). *Dans le cas où* $\eta(t, s)$ *ne dépend pas de* t, *qui correspond aux systèmes à coefficients constants, ce théorème a été établi par S. N. Šimanov* (2), (3).

Dans le cas très important des systèmes d'équations à argument retardé de la forme

$$\dot{x}(t) = A(t)\, x(t) + B(t)\, x(t-\tau) + f(t),$$

le système adjoint est

$$\dot{y}(t) = -y(t)\, A(t) - y(t+\tau)\, B(t+\tau).$$

Soit le système

$$\dot{x}(t) = \int_{-\infty}^{0} x(t+s)\, d_s \eta(t, s) + f(t) + \varepsilon \mathrm{R}(t, \varepsilon, x(t+s)), \tag{5}$$

où, pour chaque valeur de t et ε, les composantes du vecteur R sont des fonctionnelles continues définies sur l'espace des fonctions vectorielles continues sur $[-\tau, 0]$ et $\mathrm{R}(t + \omega, \varepsilon, \varphi) \equiv \mathrm{R}(t, \varepsilon, \varphi)$.

Si le système (5) admet une solution périodique de période ω, $x(t, \varepsilon)$, telle que $\lim_{\varepsilon \to 0} x(t, \varepsilon) = x_0(t)$, où $x_0(t)$ est une solution périodique de période ω de (1), alors

$$\int_0^{\omega} \mathrm{R}[t, 0, x_0(t+s)]\, y_k(t)\, dt = 0$$

pour toutes les solutions périodiques de période ω de (3). Dans le cas des systèmes de la forme

$$\dot{x}(t) = g[t, x(t), x(t-\tau)] + \varepsilon f[t, x(t), x(t-\tau), \varepsilon], \tag{6}$$

supposons que le système obtenu pour $\varepsilon = 0$ admette une solution périodique $x_0(t)$ de période ω telle que le système aux variations correspondant admette des solutions périodiques de période ω. Alors, si le système (6) admet une solution périodique de la forme $x(t) = x_0(t) + \varepsilon x_1(t) + O(\varepsilon^2)$, la solution $x_0(t)$ doit vérifier la condition

$$\int_0^{\omega} y_k(t) f[t, x_0(t), x_0(t-\tau), 0]\, dt = 0,$$

pour toutes les solutions périodiques indépendantes $y_k(t)$ du système adjoint au système aux variations correspondant à la solution $x_0(t)$.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) A. Halanay, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3557.

(2) S. N. Šimanov, *Prikladnaïa Matematika i Mechanika*, 23, 1959, p. 836-844.

(3) S. N. Šimanov, *Doklady Akad. Nauk. S. S. S. R.*, 133, n° 1, 1960, p. 36-39.

(*Institut de Mathématiques de l'Académie de la République Populaire Roumaine, Str. Mickaïl Eminescu, Bucarest.*)

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Nouveau système d'équations dynamiques de la turbulence isotrope.* Note (*) de M. **Stoïtcho Pantchev**, présentée par M. Henri Villat.

Nous avons obtenu [1] l'équation entre tenseurs

(1) $$-\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\nu\Delta\right)S_{jl,i} = X_{jl,i} - Y_{jl,i},$$

où

(2) $$X_{jl,i} = \frac{\partial}{\partial r_k}\left(\overline{u_i u_k u'_j u'_l} - \overline{u_i u'_k u'_j u'_l}\right) + \frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial r_i}\overline{p u'_j u'_l},$$

(3) $$Y_{jl,i} = 2\nu\,\overline{u_i \frac{\partial u'_l}{\partial x'_\alpha}\frac{\partial u'_j}{\partial x'_\alpha}} + \frac{1}{\rho}\overline{\left(u'_l\frac{\partial}{\partial x'_j} + u'_j\frac{\partial}{\partial x'_l}\right)p' u_i},$$

$$S_{jl,i} = \overline{u_i u'_j u'_l}.$$

Le tenseur $S_{jl,i}$ est symétrique par rapport aux index j, l, solénoïdal par rapport à i et isotrope. Par conséquent les tenseurs $X_{jl,i}$ et $Y_{jl,i}$ possèdent les mêmes propriétés. C'est pourquoi n'importe lequel d'entre eux peut se présenter sous la forme

$$B_{jl,i} = \frac{1}{r}B' r_j r_l r_i - (rB' + 3B)(r_j\delta_{li} + r_l\delta_{ij}) + 2Br_i\delta_{jl},$$

où

$$B = B(r, t), \qquad r_\alpha = x'_\alpha - x_\alpha, \qquad B' = \frac{dB}{dr}.$$

L'équation scalaire équivalente à (1) est

(4) $$-\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\nu D_7\right)S = X - Y.$$

Nous écrivons l'équation connue de Karman-Howarth [2]

(5) $$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\nu D_5\right)G = 4\left(r\frac{\partial}{\partial r} + 5\right)S,$$

où $G(r, t)$ est la fonction longitudinale corrélative, et

$$D_n = \frac{d^2}{dr^2} + \frac{n-1}{r}\frac{d}{dr}.$$

De (4) et (5) nous éliminons S,

(6) $$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\nu D_5\right)^2 G = -4\left(r\frac{\partial}{\partial r} + 5\right)(X - Y).$$

Dans (2) on peut éliminer la pression p à l'aide de l'équation de continuité $\partial u_k/\partial x_k = 0$ et des équations du mouvement. Nous exprimons les moments tenseurs du quatrième ordre dans (2), comme il est d'usage,

par le tenseur fondamental $\overline{u_\alpha u_\beta'}$ à l'aide de l'hypothèse de quasi-normalité

$$\overline{\eta_1\eta_2\eta_3\eta_4} = \overline{\eta_1\eta_2}\,\overline{\eta_3\eta_4} + \overline{\eta_1\eta_3}\,\overline{\eta_2\eta_4} + \overline{\eta_1\eta_4}\,\overline{\eta_2\eta_3}, \tag{7}$$

où η est occasionnellement variable avec $\overline{\eta_\alpha} = 0$. Après d'assez longs calculs nous obtenons

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial}{\partial r} + 5\right)X = -(G_0 - G)\frac{\partial}{\partial r}D_5 G, \tag{8}$$

où $G_0 = G(0, t)$. De (6) et de (8) nous éliminons X,

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\nu D_5\right)^2 = 4(G_0 - G)\frac{\partial}{\partial r}D_5 G + 4\left(r\frac{\partial}{\partial r} + 5\right)Y. \tag{9}$$

Prenons maintenant pour les fluctuations de la température T dans le courant turbulent isotrope une équation analogue à (1), obtenue dans ([3])

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\varkappa\Delta\right)\overline{u_j TT'} = \frac{\partial}{\partial r_k}\left(\overline{u_j' u_k' T' T} - \overline{u_j' u_k TT'}\right) + L_j, \tag{10}$$

$$L_j = \frac{1}{\rho}\overline{TT'\frac{\partial p'}{\partial x_j'}} + (\varkappa - \nu)\overline{TT'\Delta' u_j'} + 2\varkappa\overline{T\frac{\partial T'}{\partial x_\alpha'}\frac{\partial u_j'}{\partial x_\alpha'}}. \tag{11}$$

En transformant les moments du quatrième ordre de (10) à l'aide de (7) nous obtenons l'équation scalaire équivalente à (10)

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\varkappa D_5\right)A = (G_0 - G)\frac{B_{TT}'}{r} + L, \tag{12}$$

où

$$\overline{u_j TT'} = A(r, t)\,r_j; \qquad L_j = L(r, t)\,r_j; \qquad B_{TT}(r, t) = \overline{TT'}; \qquad \overline{Tu_\alpha'} \equiv 0.$$

De (12) et de l'équation de S. Corrsin ([4])

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\varkappa D_3\right)B_{TT} = 2\left(r\frac{\partial}{\partial r} + 3\right)A, \tag{13}$$

éliminons la fonction $A(r, t)$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\varkappa D_3\right)^2 B_{TT} = 2\left(\frac{\partial}{\partial r} + \frac{2}{r}\right)(G_0 - G)B_{TT}' + 2\left(r\frac{\partial}{\partial r} + 3\right)L. \tag{14}$$

Les fonctions $Y(r, t)$ et $L(r, t)$ figurant dans (9) et (14) représentent des moments de troisième ordre dans (3) et (11). Nous admettrons que ces moments peuvent être négligés comme on le fait souvent en théorie, c'est-à-dire que dans (9) et (14) on peut considérer que $Y \approx 0$ et $L \approx 0$. Cela étant admis, nous obtenons le nouveau système proposé :

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\nu D_5\right)^2 G = 4(G_0 - G)\frac{\partial}{\partial r}D_5 G, \tag{15}$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - 2\varkappa D_3\right)^2 B_{TT} = 2\left(\frac{\partial}{\partial r} + \frac{2}{r}\right)(G_0 - G)B_{TT}', \tag{16}$$

de deux équations pour les deux fonctions inconnues $G(r, t)$ et $B_{TT}(r, t)$. Par leur nature, (15) et (16) sont semblables aux équations de la fonction

corrélative d'espace et de temps $G(r, \tau)$ et $B_{TT}(r, \tau)$, obtenues dans [5] et [6].

Dans les cas où l'on peut négliger l'influence du frottement ($\nu \approx 0$) et de la conductibilité thermique ($\chi \approx 0$), le système se réduit à

$$\frac{\partial^3 G}{\partial r\,\partial t^2} = 4(G_0 - G)\frac{\partial}{\partial r}D_5 G, \tag{15 a}$$

$$\frac{\partial^2 B_{TT}}{\partial t^2} = 2\left(\frac{\partial}{\partial r} + \frac{2}{r}\right)(G_0 - G)\,B'_{TT}. \tag{16 a}$$

L'équation (16 *a*) a été obtenue précédemment par W. H. Reid [7] d'une manière toute différente.

Il est facile de démontrer que (16) et même l'équation exacte (14) — en admettant l'hypothèse supplémentaire $r^3 L \to 0$, lorsque $r \to \infty$, avec la transformation (7) appliquée à (10) — ne sont pas en contradiction avec l'existence de l'invariant de Corrsin [4],

$$\int_0^\infty r^2 B_{TT}(r, t)\,dr = \text{Cte}. \tag{17}$$

Antérieurement, Reid [7] était également parvenu à la même conclusion, en analysant l'équation abrégée (16 *a*).

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) St. Pantchev, *C. R. Acad. bulg. Sc.*, 12, nº 5, 1959.
(2) T. von Karman et L. Howarth, *Proc. Roy. Soc.*, 164 A, 1938.
(3) St. Pantchev, *C. R. Acad. bulg. Sc.*, 12, nº 6, 1959.
(4) S. Corrsin, *I. Aero. Sc.*, 17, 1950, p. 417.
(5) S. Chandrasenkar, *Proc. Roy. Soc.*, 229 A, 1955.
(6) St. Pantchev, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 661.
(7) W. H. Reid, *Proc. Cambr. Phil. Soc.*, 51, nº 2, 1955.

PHYSIQUE SOLAIRE. — *L'excitation de la raie coronale rouge* λ *6374.* Note (*) de Mme **Charlotte Pecker**, transmise par M. André Danjon.

La raie coronale rouge λ 6374 est une transition interdite $3s^2 3p^5\ (^2P^0_{1/2} — {}^2P^0_{3/2})$ dans la configuration fondamentale de Fe X (séquence du Cl I). Le potentiel d'excitation nécessaire pour exciter la raie étant très faible (1, 94 V) par rapport au potentiel d'ionisation de l'ion Fe X (262 V) on a coutume de dissocier les problèmes relatifs à l'ionisation de ceux relatifs à l'excitation.

La théorie classique réduit l'ion Fe X à deux niveaux $^2P^0_{3/2}$ (fondamental) et $^2P^0_{1/2}$ pour l'étude de l'excitation de la raie rouge. Cependant, l'existence dans le spectre ultraviolet solaire de la raie permise $3s\,3p^6\ {}^2S_{1/2} — 3s^2\ 3p^5\ {}^2P^0_{3/2}$ nous a conduite à rechercher quelle pouvait être l'influence de ce niveau $3s\,3p^6\ {}^2S_{1/2}$ ($\chi_{exc} = 29$ V) sur la population des deux niveaux du doublet fondamental.

L'intensité de la raie rouge coronale étant proportionnelle à la population du niveau $3s^2\ 3p^5\ {}^2P^0_{1/2}$ il importe de connaître cette population en fonction de la température et de la densité électronique.

A. En reprenant la théorie classique des deux niveaux de populations N_1 et N_2, on peut écrire l'équation représentant l'équilibre statistique des populations :

$$N_1(b_{12} + B_{12}u_\nu) = N_2(A_{21} + b_{21} + B_{21}u_\nu),$$

où A_{21}, B_{21}, B_{12} sont les probabilités d'Einstein relatives à l'émission spontanée, l'émission induite et l'absorption, u_ν la densité de rayonnement photosphérique dilué (W = 1/2), les b_{12} et b_{21} caractérisant l'excitation et la désexcitation par collisions électroniques d'un niveau métastable sont donnés par la formule d'Hebb Menzel (valable pour O III et extrapolée jusqu'aux ions coronaux)

$$b_{12} = 8{,}54.10^{-6}\,\Omega'(1,\ 2)\,(2J_2 + 1)\,N_e T_e^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{h\nu}{kT}}.$$

Si l'on admet cette valeur des b_{ij}, les excitations et désexcitations par rayonnement sont négligeables dans les conditions coronales et

$$\text{(1)} \qquad \frac{N_2}{N_1} = \frac{b_{12}}{A_{21} + b_{21}} = \frac{8{,}54.10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}{69 + 1{,}5.10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}.$$

$N_e T_e^{-1/2}$ étant de l'ordre de 10^5 à 10^6 dans la couronne, ce rapport N_2/N_1 est très sensible à la valeur de b_{12}. Or Blaha (1) vient de montrer pour la raie verte (transition de type semblable de l'ion Fe XIV) que cette section de choc était surestimée par un facteur 11. Le rapport N_2/N_1 se trouve

donc diminué par un facteur de l'ordre de 10, également pour la raie rouge et l'on a approximativement :

$$(2) \qquad \frac{N_2}{N_1} = \frac{8.10^{-[illegible]} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}{69 + 1,5.10^{-[illegible]} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}.$$

Il est vraisemblable qu'alors excitations et désexcitations par rayonnement ne sont plus négligeables.

B. Supposons maintenant l'ion Fe X réduit aux trois niveaux $^2P^0_{3/2}$, $^2P^0_{1/2}$, $^2S_{1/2}$ de populations N_1, N_2, N_3.

Les équations de l'équilibre statistique relatives aux trois niveaux s'écrivent en négligeant les excitations et désexcitations par rayonnement

$$(3) \qquad N_1(b_{12} + \Omega_{13}) = N_2 A_{21} + N_3 A_{31},$$

$$(4) \qquad N_2(\Omega_{23} + A_{21}) = N_3 A_{32} + N_1 b_{12}.$$

Les Ω_{13}, Ω_{23} sections de choc d'excitation par collisions électroniques relatives aux transitions permises $1 \to 2$ et $2 \to 3$, sont données par une formule approchée du type Fowler-Massey [déjà utilisée dans une précédente Note ([2])].

Si l'on prend $f = 0,5$ pour la transition $3 \to 1$, la règle de Burger et Dorgelo donne

$$f_{[illegible]} = 0,25.$$

En admettant une valeur moyenne de la parenthèse $(e^{-\chi/kT} - \chi/kT\, E_i(\chi/kT))$ qui varie peu pour des températures comprises entre 10^6 et 2.10^6 degrés, on a approximativement

$$\Omega_i \sim 1,8.10^{-[illegible]} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}.$$

Résolvant les équations (3) et (4), on obtient (5)

$$(5) \qquad \frac{N_2}{N_1} = \frac{b_{12} + \frac{1}{3}\Omega_{13}}{A_{21} + \frac{2}{3}\Omega_{23}}.$$

Soit en remplaçant b_{12} (Hebb-Menzel), Ω_{13} et Ω_{23} par leurs valeurs

$$(6) \qquad \frac{N_2}{N_1} = \frac{8,1.10^{-[illegible]} N_e T_e^{-\frac{1}{2}} + 6.10^{-[illegible]} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}{69 + 5,5.10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}.$$

La population du niveau 2 se fait donc, dans ce cas, à la fois par collisions électroniques à partir du fondamental et par cascade radiative à partir du niveau ^2S.

Cependant si l'on doit admettre que les b_{12} sont réellement surestimés par un facteur 10, le problème est différent, (6) devient (7),

$$(7) \qquad \frac{N_2}{N_1} = \frac{7.10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}{69 + 5,5.10^{-6} N_e T_e^{-\frac{1}{2}}}.$$

La population du niveau $^2P^0_{1/2}$ se fait surtout par cascade à partir du niveau $^2S_{1/2}$, le peuplement par collisions électroniques à partir du fondamental étant 10 fois moins important.

En comparant les résultats (2) et (7) on s'aperçoit que l'introduction d'un troisième niveau apporte un accroissement d'un facteur 10 dans la population du niveau responsable de la raie rouge.

C. Ce résultat est particulièrement important dans la théorie des raies coronales où l'on a l'habitude de comparer le rapport d'intensité des deux raies rouge λ 6 374 et verte λ 5 303, toutes deux de même type pour un ion à deux niveaux. Le rapport ne dépend pas, dans ce cas, de la valeur des b_{12} et les résultats obtenus ne sont pas modifiés par les nouveaux calculs de Blaha. L'analogie entre Fe X et Fe XIV de séquences isoélectroniques différentes, se limitant au doublet fondamental, l'introduction de niveaux supplémentaires différents pour Fe X (un seul niveau à $\chi_{exc} = 29$ V) et Fe XIV (de nombreux niveaux 25 V $< \chi_{exc} <$ 40 V) modifiera de façon différente la population des niveaux responsables des raies verte et rouge. Seule une étude complète relative à Fe XIV (actuellement en cours) permettra d'établir l'importance de cette différence.

(*) Séance du 10 octobre 1960.

(1) M. Blaha, *Bull. Astr. Inst. Czech.*, 9, 1958, p. 106.

(2) Ch. Pecker, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3779.

PHYSIQUE MATHÉMATIQUE. — *Principe variationnel relatif aux systèmes d'équations à valeurs propres communes. Application au calcul de la constante de propagation des ondes électromagnétiques dans des guides à milieux anisotropes.* Note (*) de MM. **Lorenzo Cairó** et **Théo Kahan**, présentée par M. Louis de Broglie.

On établit un principe variationnel de caractère général et on en fait une application au cas, déjà traité [1], de systèmes d'équations qui fournissent la constante de propagation des ondes électromagnétiques dans des guides d'ondes gyromagnétiques.

Soit le système

$$(1)\qquad \mathcal{L}_i(\psi_1, \ldots, \psi_i, \ldots, \psi_n) = \lambda \mathcal{M}_i(\psi_1, \ldots, \psi_i, \ldots, \psi_n) \qquad (i = 1, \ldots, n)$$

écrit en notation opérationnelle, $\mathcal{L}_i$ et $\mathcal{M}_i$ étant des opérateurs différentiels ou intégraux.

Si nous désignons l'ensemble des $\mathcal{L}_i$, $\mathcal{M}_i$ et ψ_i par des vecteurs $\vec{\mathcal{L}}$, $\vec{\mathcal{M}}$ et $\vec{\psi}$, le système (1) se traduit par la seule équation [2]

$$(1')\qquad \vec{\mathcal{L}}(\vec{\psi}) = \lambda \vec{\mathcal{M}}(\vec{\psi}),$$

pour laquelle on connaît un principe variationnel pour λ [3] :

$$(2)\qquad [\lambda] = \frac{\int \left(\vec{\psi}^{+} . \vec{\mathcal{L}}\right) \psi \, dv}{\int \left(\vec{\psi}^{+} . \vec{\mathcal{M}}\right) \psi \, dv},$$

l'intégration étant étendue sur le volume déterminé par les variables indépendantes, et $\vec{\psi}^{+}$ désignant l'ensemble de variables adjointes qui satisfont au système adjoint

$$(3)\qquad \mathcal{L}_i^{+}(\psi_1^{+}, \ldots, \psi_n^{+}) = \lambda \mathcal{M}_i^{+}(\psi_1^{+}, \ldots, \psi_n^{+}).$$

En tenant compte de la notation vectorielle, (2) s'écrira finalement

$$(2')\qquad [\lambda] = \frac{\Sigma_i \int \psi_i^{+} \mathcal{L}_i(\psi_1, \ldots \psi_n) \psi_i \, dv}{\Sigma_i \int \psi_i^{+} \mathcal{M}_i(\psi_i, \ldots, \psi_n) \psi_i \, dv}.$$

On va faire maintenant une application de ce principe général au cas du système d'équations qui fournissent la constante de propagation des ondes électromagnétiques dans des guides à milieux anisotropes.

A partir du développement en série des modes normaux des fonctions de Green, on obtient pour le champ électromagnétique les équations [1]

$$(4)\quad \begin{cases} \vec{E}(\vec{x}') - \displaystyle\sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_n^e \vec{E}_n(\vec{x}')}{\gamma^2 - \gamma_n^2} + \frac{\omega^2 \mu_0}{K_0^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\left[\int f_n^{+} . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E} \, ds\right] f_n(\vec{x}')}{\Omega_n^2} = \frac{J_0^e \vec{E}_0(\vec{x}')}{\gamma^2 - \gamma_0^2}, \\ \dfrac{\vec{\mu}' . \vec{H}(\vec{x}')}{\mu_0} + \vec{H}(\vec{x}') - \displaystyle\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\alpha_n \beta_n)^{\frac{1}{2}} J_n^e}{\gamma^2 - \gamma_n^2} \vec{H}_n(\vec{x}') = \frac{(\alpha_0 \beta_0)^{\frac{1}{2}} J_0^e \vec{H}_0(\vec{x}')}{\gamma^2 - \gamma_0^2}, \end{cases}$$

où $\vec{x}' = x'\vec{i} + y'\vec{j}$, et γ, γ_n sont respectivement les constantes de propagation des ondes électromagnétiques et des modes normaux; $K_0^2 = \omega^2 \varepsilon_0 \mu_0$; $\overleftrightarrow{\varepsilon} = \varepsilon_0 \overleftrightarrow{I} + \overleftrightarrow{\varepsilon}'$; $\overleftrightarrow{\mu} = \mu_0 \overleftrightarrow{I} + \overleftrightarrow{\mu}'$; α_n et β_n sont des constantes dont la valeur dépend de γ, γ_n, K_0 et du mode normal; $\vec{E}_n = \beta_n^{\frac{1}{2}} \vec{F}_n$, $\vec{H}_n = \alpha_n^{\frac{1}{2}} \vec{G}_n$; F_n et G_n sont respectivement les modes normaux solénoïdaux électriques et magnétiques d'ordre n, f_n est le mode normal électrique irrotationnel d'ordre n, Ω_n étant la constante de normalisation de ce mode. Finalement,

$$J_n^e = \frac{\omega^2 \mu_0}{\beta_n \Lambda_n^2}\left[\int \vec{E}_n^+ . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}\, ds + (\alpha_n \beta_n)^{\frac{1}{2}} \int \vec{H}_n^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}\, ds\right],$$

$$(J_n^e)^+ = \frac{\omega^2 \mu_0}{\beta_n \Lambda_n^2}\left[\int \vec{E}^+ . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}_n\, ds + (\alpha_n \beta_n)^{\frac{1}{2}} \int \vec{H}^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}_n\, ds\right],$$

l'intégration étant étendue sur la section droite du guide. Λ_n est la constante de normalisation du mode F_n.

Le système (4) est un cas particulier de (1) où

$$\psi_1 = \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}, \qquad \psi_2 = \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}, \qquad \psi_1^+ = \vec{E} . \overleftrightarrow{\varepsilon}', \qquad \psi_2^+ = \vec{H} . \overleftrightarrow{\mu}'.$$

En appliquant (2), on obtient pour la valeur propre $1/(\gamma^2 - \gamma_0^2)$ le principe variationnel

$$\frac{\beta_0 \Lambda_0^2}{\omega^2 \mu_0} \frac{1}{\gamma^2 - \gamma_0^2} = \frac{\left\{\begin{array}{l}\displaystyle\int \vec{E}^+ . \varepsilon' . E\, ds + \frac{1}{\mu_0}\int \vec{H}^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}\, ds \\ \displaystyle\quad + \int \vec{H}^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}\, ds - \frac{1}{\omega^2 \mu_0}\sum_{n=1} \frac{\beta_n \Lambda_n^2 J_n^e (J_n^e)^+}{\gamma^2 - \gamma_n^2} + \frac{\omega^2 \mu_0}{k_0^2}\sum \frac{\left[\int \vec{f}_n^+ . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}\, ds\right]\left[\int \vec{E}^+ . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{f}_n\, ds\right]}{\Omega_n^2}\end{array}\right\}}{J_0^e (J_0^e)^+}$$

ou, en désignant par D_0^e le numérateur du deuxième membre [1]

$$(5)\qquad \frac{(\gamma^2 - \gamma_0^2)\,\omega^2 \mu_0}{\beta_0 \Lambda_0^2} = \frac{J_0^e (J_0^e)^+}{D_0^e}.$$

D'une façon analogue, si l'on part du système

$$(6)\qquad \left\{\begin{array}{l}\displaystyle \vec{H}(\vec{x}') - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_n^m \vec{H}_n(\vec{x}')}{\gamma_2 - \gamma_n^2} - \frac{\omega^2 \varepsilon_0}{K_0^2}\sum_{n=0}^{\infty}\left[\int \frac{\vec{g}_n^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}\, ds}{\eta_n^2}\right] g_n(\vec{x}') = \frac{J_0^m \vec{H}_0(\vec{x}')}{\gamma_2 - \gamma_0^2}, \\ \displaystyle \frac{\overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}(\vec{x}')}{\varepsilon_0} + \vec{E}(\vec{x}') - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\alpha_n \beta_n)^{\frac{1}{2}} J_n^m \vec{E}_n(\vec{x}')}{\gamma^2 - \gamma_n^2} = \frac{(\alpha_0 \beta_0)^{\frac{1}{2}} J_0^m \vec{E}_0(\vec{x}')}{\gamma^2 - \gamma_0^2},\end{array}\right.$$

où g_n est le mode normal magnétique irrotationnel d'ordre n, dont η_n est la constante de normalisation et où

$$J_n^m = \frac{\omega^2 \varepsilon_0}{\alpha_n \lambda_n^2}\left[\int \vec{H}_n^+ . \overleftrightarrow{\mu}' . \vec{H}\, ds + (\alpha_n \beta_n)^{\frac{1}{2}} \int \vec{E}_n^+ . \overleftrightarrow{\varepsilon}' . \vec{E}\, ds\right],$$

l'intégration étant étendue sur la section droite du guide et λ_n étant la constante de normalisation du mode G_n.

On obtient, en appliquant (2), l'expression variationnelle

$$\frac{(\gamma^2 - \gamma_0^2)\,\omega^2\varepsilon_0}{\alpha_0\lambda_0^2} = \frac{J_0^{m}(J_0^{m})^{*}}{D_0^{m}}, \tag{7}$$

où

$$D_0^{m} = \frac{1}{\varepsilon_0}\int \vec{E}^{*}.\overleftrightarrow{\varepsilon}'.\overleftrightarrow{\varepsilon}'.\vec{E}\,ds + \int \vec{E}^{*}.\overleftrightarrow{\varepsilon}'.\vec{E}\,ds + \int \vec{H}^{*}.\overleftrightarrow{\mu}'.\vec{H}\,dt - \frac{1}{\omega^2\varepsilon_0}\sum_{n} \frac{\alpha_n\lambda_n^2 J_n^{m}(J_n^{m})^{*}}{\gamma^2 - \gamma_n^2}$$

$$- \frac{\omega^2\varepsilon_0}{k_0^2}\sum_{1}^{\infty} \frac{\left|\int g_n^{*}.\overleftrightarrow{\mu}'.\vec{H}\,ds\right|\left|\int \vec{H}^{*}.\overleftrightarrow{\mu}'.\vec{g}_n\,ds\right|}{[illegible]}.$$

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) W. HAUSER, *Quart. Appl. Math.*, 16, n° 3, octobre 1958.

(2) T. KAHAN, G. RIDEAU et P. ROUSSOPOULOS, *Mém. Sc. math.*, 134, 1956, p. 48.

(3) MORSE et FESHBACH, *Methods of Theoretical Physics*, 2, 1955, p. 1109.

(4) L. GABARRE et L. CAIRÓ, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1750.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Freinage dû à la radiation gravitationnelle.* Note (*) de Mme **Cécile Morette De Witt** et M. **John L. Ging**, présentée par M. Louis de Broglie.

Le système d'équations dynamiques d'une particule de masse m dans un champ de gravitation [1] :

$$\ddot{\xi}^{\alpha} = 0, \tag{1}$$

$$\mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{8\pi G}{c^4} T^{\mu\nu} = 0 \tag{2a}$$

ne détermine que formellement le mouvement de la particule puisque le tenseur métrique est infini sur la ligne d'univers de la particule. Pour tourner cette difficulté on sépare du tenseur métrique vrai un tenseur métrique de référence $g_{\mu\nu}$:

$$g^{\text{vrai}}_{\mu\nu} = g_{\mu\nu} + \delta g_{\mu\nu}$$

de telle sorte que $g_{\mu\nu}$ soit fini partout, que $\mathcal{G}^{\mu\nu}(g_{\rho\sigma}) = 0$ et que $\delta g_{\nu\mu} \equiv h_{\mu\nu}$ soit tel que

$$\left(h^{\mu\nu} - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} h\right)_{;\nu} \equiv \bar{h}^{\mu\nu}{}_{;\nu} = 0.$$

Dans cette expression, comme dans les suivantes, les dérivées covariantes, désignées par un point virgule, sont prises par rapport au tenseur métrique de référence.

L'équation (2 a) exprimée en termes du champ de référence peut s'écrire symboliquement :

$$e^{\delta}\left\{\mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{8\pi G}{c^4} T^{\mu\nu}\right\} = 0. \tag{2b}$$

On considère le cas où $h_{\mu\nu}$ est suffisamment petit — c'est-à-dire m suffisamment petit — pour pouvoir se limiter aux premiers termes du développement en séric de (2 b) :

$$\delta\mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{1}{2}\delta^2\mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{8\pi G}{c^4} T^{\mu\nu} + \frac{8\pi G}{c^4}\delta T^{\mu\nu} = 0. \tag{2c}$$

Dans le cas où m est infinitésimal :

$$\delta\mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{8\pi G}{c^4} T^{\mu\nu} = 0 \tag{2d}$$

et l'on montre que la trajectoire de la particule est une géodésique dans le champ de référence.

Nous avons résolu l'équation (2 c) qui donne l'approximation d'ordre supérieur à l'équation (2 d), c'est-à-dire les termes de freinage dû à la radiation gravitationnelle.

Des identités de Bianchi appliquées à l'équation (2 a), on obtient, à l'approximation (2 c), la relation :

$$(3\,a)\qquad \left|\partial^2 \mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{16\pi G}{c^4}(T^{\mu\nu} + \partial T^{\mu\nu})\right|_{;\nu} = 0.$$

Cette relation permet d'obtenir l'équation du mouvement d'une masse dans un champ de gravitation par un calcul qui rappelle le calcul classique de Dirac ([2]) pour déterminer, par un bilan d'énergie, le mouvement d'un électron dans un champ électromagnétique. On remplace l'expression différentielle (3 a) par l'expression intégrale (3 b) :

$$(3\,b)\qquad \int \bar{g}^{\alpha}_{\mu}\left[\partial^2 \mathcal{G}^{\mu\nu} + \frac{16\pi G}{c^4}(T^{\mu\nu} + \partial T^{\mu\nu})\right]_{;\nu} d^4x = 0.$$

où l'intégrale est prise sur une sphère d'univers de rayon infinitésimal ε. L'équation (3 b) développée en série de ε et de m donne, après un calcul long mais sans ambiguïté, l'équation du mouvement d'une masse m dans un champ de gravitation, à l'approximation m^2 :

$$(4)\qquad 0 = m_0 \ddot{z}^\alpha + \frac{11}{3} G m_0^2 c^{-3}(\dddot{z}^\alpha - c^{-2}\ddot{z}^2 \dot{z}^\alpha) + V^\alpha,$$

m_0 est la masse observée, V^α est une expression due aux termes de la fonction de Green bitensorielle qui, dans un espace courbe, ne s'annulent pas à l'intérieur du cône de lumière. Ces termes apparaissent dans $\partial^2 \mathcal{G}^{\mu\nu}$ lorsqu'on remplace les $\gamma^{\mu\nu}$ et leurs dérivées premières par leurs expressions en termes des fonctions de Green bitensorielles. Les conditions aux limites choisies sont celles des ondes retardées.

Il est intéressant de comparer l'équation (4) avec l'équation du mouvement d'un électron e dans un champ électromagnétique $F_{\alpha\beta}$, à l'approximation e^2, dans les deux cas suivants ([3]) :

Espace à courbure nulle ([2]) :

$$0 = m_0 \ddot{z}^\alpha - e c^{-1} F^{en\alpha}{}_{\beta} \dot{z}^\beta - \frac{2}{3} e^2 c^{-3}(\dddot{z}^\alpha - c^{-2}\ddot{z}^2 \dot{z}^\alpha).$$

Espace à courbure non nulle ([1]) :

$$0 = m_0 \ddot{z}^\alpha - e c^{-1} F^{en\alpha}{}_{\beta} \dot{z}^\beta - \frac{2}{3} e^2 c^{-3}(\dddot{z}^\alpha - c^{-2}\ddot{z}^2 \dot{z}^\alpha) + \mathcal{F}^\alpha,$$

où $\mathcal{F}^\alpha$ est un terme semblable à V^α et ayant la même origine. On remarque, entre autres, dans l'équation (4), que le terme de freinage $\dddot{z}^\alpha - c^{-2}\ddot{z}^2\dot{z}^\alpha$ a un signe opposé à celui auquel logiquement on s'attendrait. Toutefois, la présence du terme V^α interdit toute conclusion hâtive. Cette étude soulève plusieurs questions : interprétation physique de la condition $\gamma^{\mu\nu}{}_{;\nu}$, influence de V^α, etc. qui seront considérées ultérieurement.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) La notation et les techniques utilisées sont celles de B. S. De Witt et R. W. Brehme, *Ann. Phys.*, 9, 1960, p. 220. Un point désigne la dérivée covariante absolue par rapport au temps propre τ de la particule, ainsi :

$$\ddot{z}^{\alpha}(\tau) = \frac{d^2 z^{\alpha}}{d\tau^2} + \Gamma_{\beta\gamma}{}^{\alpha} \frac{dz^{\beta}}{d\tau} \frac{dz^{\gamma}}{d\tau},$$

où $z^{\alpha}(\tau)$ est la ligne d'univers de la particule

$$\mathcal{G}^{\mu\nu} = g^{\frac{1}{2}} \left(R^{\mu\nu} - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} R \right),$$

$$T^{\mu\nu} = mc \int \bar{g}^{\mu}{}_{\alpha} \bar{g}^{\nu}{}_{\beta} \dot{z}^{\alpha} \dot{z}^{\beta} g^{\frac{1}{4}}(x)\, \delta^{(4)}(x, z)\, g^{-\frac{1}{4}}(z)\, d\tau.$$

(2) P. A. M. Dirac, *Proc. Roy Soc.*, A 167, 1938, p. 148.

(3) $F_{\alpha\beta} = F_{\alpha\beta}^{\text{en}} + F_{\alpha\beta}^{\text{retardées}}$.

ÉLECTROSTATIQUE. — *Recherche d'équations aux différences finies pour des points situés à la limite d'une distribution superficielle de charges. Cas des systèmes de révolution.* Note (*) de M. **Jacques Gélard**, transmise par M. Léopold Escande.

En dehors d'une distribution superficielle de charges sur une surface (S) (*fig.* 1) le potentiel obéit à l'équation de Laplace ($k = 1$)

$$\left\{ \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{\partial^2}{\partial R^2} + \frac{k}{R}\frac{\partial}{\partial R} \right\} V(R, z) = 0.$$

Sur la surface (S) les conditions aux limites s'écrivent [1]

$$(1) \quad V_+ = V_-, \qquad \frac{\partial V_+}{\partial n} - \frac{\partial V_-}{\partial n} = -\frac{\sigma}{\varepsilon_0}, \qquad \text{avec} \quad \frac{\partial}{\partial n} = \left(\vec{n}\,.\,\overrightarrow{\text{grad}}\right) = (n_z\, dz + n_R\, dR).$$

Nous allons déterminer des équations aux différences finies pour des points situés à la limite d'une distribution superficielle de charges dans le cas de surfaces (S) particulièrement intéressantes.

1. *Surface* (S) *dont la méridienne est une demi-droite perpendiculaire à l'axe de révolution* (*fig.* 2). — Le potentiel dans la région voisine de O peut s'exprimer par une somme de deux fonctions, l'une régulière ψ vérifiant $\Delta\psi = 0$, l'autre G obéissant aux relations (1) et vérifiant $\Delta G = r' f(r, \theta, \text{Log}\, r/h)$ à l'approximation du quatrième ordre. Le développement du potentiel peut alors s'écrire [2] :

$$(2) \quad V = \psi - \frac{\sigma_0 a}{2\pi\varepsilon_0} \left[\frac{r}{a}\left(\theta \sin\theta - \cos\theta\, \text{Log}\frac{r}{h}\right) - \frac{r^2}{4a^2}\text{Log}\frac{r}{h} + \frac{r^2}{8a^2}\cos 2\theta \right.$$
$$\left. - \frac{3r^3}{16a^3}\cos\theta\,\text{Log}\frac{r}{h} + \frac{r^3}{16a^3}\cos\theta\sin^2\theta - \frac{5r^4}{32a^4}\cos^2\theta\,\text{Log}\frac{r}{h} + \frac{r^4}{128a^4}\text{Log}\frac{r}{h} \right]$$
$$- \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{\sigma_0 a^2}{2} \left[\frac{r^2}{a^2}\left(\theta \sin 2\theta - \cos 2\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right) \right.$$
$$+ \frac{r^3}{4a^3}\left(\theta\sin\theta - \cos\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right) - \frac{r^3}{12a^3}\cos\theta + \frac{r^3}{9a^3}\cos^3\theta$$
$$\left. - \frac{5}{24}\frac{r^4}{a^4}\cos\theta\left(\theta\sin\theta - \cos\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right) + \frac{r^4}{96a^4}\text{Log}\frac{r}{h} \right]$$
$$- \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(\frac{\sigma''_0 a^3}{6} - \frac{\sigma'_0 a^2}{24}\right) \left[\frac{r^3}{a^3}\left(\theta\sin 3\theta - \cos 3\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right) \right.$$
$$\left. + \frac{r^4}{4a^4}\left(\theta\sin 2\theta - \cos 2\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right) \right]$$
$$- \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(\frac{\sigma'''_0 a^4}{24} - \frac{\sigma''_0 a^3}{48} - \frac{\sigma'_0 a^2}{48}\right) \left[\frac{r^4}{a^4}\left(\theta\sin 4\theta - \cos 4\theta\,\text{Log}\frac{r}{h}\right) \right].$$

Au point O (*fig.* 5) la fonction ψ vérifie l'équation aux différences finies habituelle $a_0\psi_0 = \sum_{i=1}^{i=8} a_i\psi_i$. La loi de superposition des potentiels nous

permet d'obtenir la relation $a_0 \mathrm{V}_0 = \sum_{i=1}^{i=8} a_i \mathrm{V}_i - a_0 \mathrm{G}_0 + \sum a_i \mathrm{G}_i$, d'où l'on déduit sans difficultés l'expression cherchée :

$$(3) \quad a_0 \mathrm{V}_0 = \sum_{i=1}^{i=8} a_i \mathrm{V}_i + \frac{\sigma_0 h}{\varepsilon_0}\left[144p^3 - 12p^2 + 60p - \frac{13}{2} + \frac{12 + \mathrm{Log}\,2}{2\pi} + \frac{3\,\mathrm{Log}\,2}{16p^2\pi} + \frac{13}{8p^2\pi}\right]$$

$$+ \frac{\sigma'_0 h^2}{\varepsilon_0}\left[24p^3 + 11p + \frac{5p\,\mathrm{Log}\,2}{\pi} - 7 + \frac{5}{12p} + \frac{13\,\mathrm{Log}\,2 - 2}{24p\pi} - \frac{13}{6p}\right]$$

$$+ \frac{\sigma''_0 h^2}{2\pi\varepsilon_0}\left[24p^2\,\mathrm{Log}\,2 - 10p\pi - \frac{4}{3}\pi + \frac{35}{3}\mathrm{Log}\,2 - \frac{13\pi}{3p}\right] - \frac{\sigma'_0 h^2}{\pi\varepsilon_0} p[8p^2 + 3]\,\mathrm{Log}\,2.$$

A l'approximation du second ordre, on trouve dans les mêmes conditions,

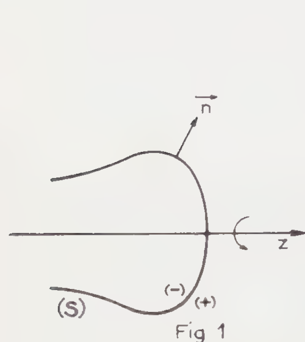


Fig 1

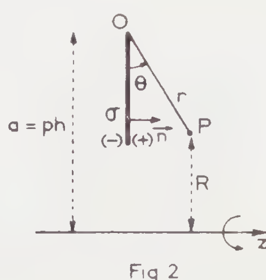


Fig 2

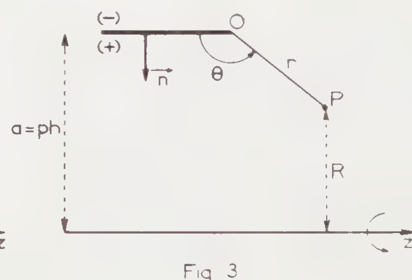


Fig 3

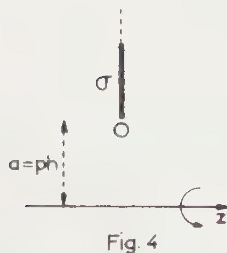


Fig. 4

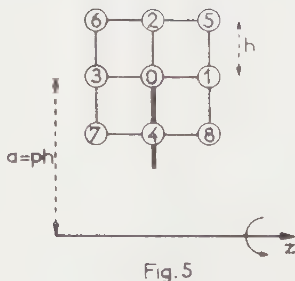


Fig. 5

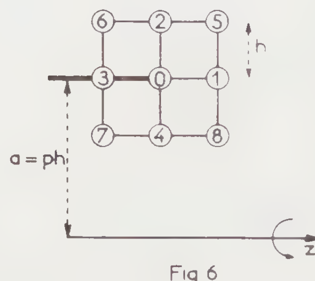


Fig 6

une formule normale et une formule diagonale :

$$8p(0) = (2p+1)(2) + (2p-1)(4) + 2p[(1)+(3)] + p\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}h,$$

$$8p(0) = (2p+1)[(5)+(6)] + (2p-1)[(7)+(8)] + \left(2p - \frac{1}{2}\right)\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}h + (p-1)\frac{\sigma'_0}{\varepsilon_0}h^2.$$

Pour une discontinuité comme celle de la figure 4 il suffit de changer p en $-p$, σ_0 en $-\sigma_0$, σ''_0 en $-\sigma''_0$ dans la relation (3). Par superposition de ces deux types de discontinuité, on retrouve les formules établies dans le cas d'une distribution σ continue [4].

2. *Surface* (S) *dont la méridienne est une demi-droite parallèle à l'axe de révolution* (*fig.* 3). — On a pour V le développement

$$V = \psi - \frac{\sigma_0 a}{2\pi\varepsilon_0}\left[\frac{r}{a}\left(\theta\sin\theta - \cos\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h}\right) + \frac{r^2}{2a^2}\theta\sin^2\theta - \frac{r^2}{2a^2}\sin\theta\cos\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h}\right.$$
$$\frac{r^2}{8a^2}\sin\theta\cos\theta + \frac{r^3}{3a^3}\theta\sin^3\theta - \frac{r^3}{3a^3}\sin^2\theta\cos\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h} + \frac{r^3}{48a^3}\cos\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h}$$
$$\frac{r^4}{4a^4}\theta\sin^4\theta - \frac{r^4}{4a^4}\sin^3\theta\cos\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h}$$
$$\left.\frac{r^4}{32a^4}\sin\theta\cos\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h} - \frac{5}{576}\frac{r^4}{a^4}\sin\theta\cos\theta\right]$$
$$- \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{\sigma'_0 a^2}{2}\left[\frac{r^2}{a^2}\left(\theta\sin 2\theta - \cos 2\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h}\right) + \frac{r^3}{a^3}\sin\theta\cos\theta\left(\theta\sin\theta - \cos\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h}\right)\right.$$
$$+ \frac{r}{3}\frac{r}{a^4}\sin^2\theta\cos\theta\left(\theta\sin\theta - \cos\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h}\right) + \frac{r}{2a^3}\sin\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h}$$
$$\left.+ \frac{r^4}{3a^4}\sin^2\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h} + \frac{r^4}{96a^4}\mathrm{Log}\frac{r}{h} - \frac{r^3}{60a^3}\sin\theta - \frac{r^4}{160a^4} + \frac{r^2\cos 2\theta}{15a^2}\right]$$
$$- \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{\sigma''_0 a^3}{6}\left[\frac{r^3}{a^3}\left(\theta\sin 3\theta - \cos 3\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h}\right) + \frac{3}{2}\frac{r^4}{a^4}\theta\sin^2\theta\cos^2\theta\right.$$
$$\left.- \frac{r^4}{2a^4}\theta\sin^4\theta - \frac{2r^4}{a^4}\sin\theta\cos^3\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h} + \frac{3}{4}\frac{r^4}{a^4}\sin 2\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h}\right]$$
$$- \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{\sigma'''_0 a^4}{24}\left[\frac{r^4}{a^4}\left(\theta\sin 4\theta - \cos 4\theta\,\mathrm{Log}\frac{r}{h}\right)\right].$$

D'où l'on déduit l'équation aux différences finies valable en O (*fig.* 5)

$$a_0 V_0 = \sum_{i=1} a_i V_i + \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} h\left[144p^3 + 60p - \frac{20}{p} - \frac{9}{p^3}\right]$$
$$+ \frac{\sigma'_0}{\varepsilon_0} h^2\left[24p^3 + 11p - p\frac{\mathrm{Log}\,2}{\pi} - \frac{1}{4p} - 3\frac{\mathrm{Log}\,2}{8p\pi} + \frac{1}{12p\pi}\right]$$
$$+ \frac{\sigma_0 h^2}{\varepsilon_0}\left[p - \frac{1}{p}\right] - \frac{\sigma_0 h^2}{\pi\varepsilon_0} p(8p^2 + 3)\,\mathrm{Log}\,2.$$

A l'approximation du second ordre, on trouve les deux expressions

$$8p(0) = (2p+1)(2) + (2p-1)(4) + 2p[(1)+(3)] + \frac{\sigma_0 h}{\varepsilon_0}\left[p - \frac{1}{4p}\right].$$
$$8p(0) = (2p+1)[(5)+(6)] + (2p-1)[(7)+(8)] + \frac{\sigma_0 h}{\varepsilon_0}\left[2p - \frac{1}{p}\right] \quad p\ \sigma\ h$$

(*) Séance du 17 octobre 1960.

([1]) Voir É. Durand, *Électrostatique et Magnétostatique*, Masson, Paris, 1953.

([2]) Les premiers termes de ces développements correspondent à $k = 0$ (systèmes plans). Ph. Durand, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1864.

([3]) É. Durand, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2355.

([4]) J. Gelard, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3455.

OPTIQUE ÉLECTRONIQUE. — *Sur une méthode d'intégration numérique des trajectoires marginales en Optique électronique.* Note (*) de Mlle **Renée Lapeyre** et M. **Michel Laudet**, transmise par M. Gaston Dupouy.

Étude des conditions de convergence d'une méthode itérative pour l'intégration numérique des trajectoires marginales en Optique électronique. Établissement d'une nouvelle formule du type Runge-Kutta permettant une approximation d'ordre respectivement 5 et 4 sur la fonction et sa dérivée. Application numérique.

Nous nous proposons dans cette Note de déterminer les conditions suffisantes de convergence d'une méthode par approximations successives permettant d'intégrer numériquement, pour des conditions initiales données, l'équation différentielle

$$\text{(E)} \qquad y'' + f(x)y = \varphi(x, y, y')$$

qu'on rencontre en particulier en Optique électronique, dans le calcul à l'approximation du troisième ordre, des trajectoires marginales pour des systèmes de révolution ou présentant un plan de symétrie (1).

A l'équation (E) associons l'équation (E') :

$$\text{(E')} \qquad Y'' + f(x)Y = 0.$$

Désignons par y_n et y'_n les valeurs obtenues au point x_n pour la solution envisagée de (E), et par $y_n(x)$ et $Y_n(x)$ celles de (E) et de (E') satisfaisant à

$$y_n(x_n) = y_n, \qquad y'_n(x_n) = y'_n \qquad \text{et} \qquad Y_n(x_n) = y_n, \qquad Y'_n(x_n) = y'_n.$$

Considérons la suite des fonctions $y_{n0}(x)$, $y_{n0}(x)$, …, $y_{n,p+1}(x)$ respectivement solutions des équations différentielles :

$$y'' + f(x)y = 0, \qquad \text{avec} \quad y_{n,0}(x_n) = y_n \quad \text{et} \quad y'_{n,0}(x_n) = y'_n;$$
$$y'' + f(x)y = \varphi[x, y_{n,0}(x), y'_{n,0}(x)], \qquad \text{avec} \quad y_{n,1}(x_n) = y_n \quad \text{et} \quad y'_{n,1}(x_n) = y'_n;$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad \ldots\ldots \qquad \ldots\ldots;$$
$$y'' + f(x)y = \varphi[x, y_{n,p+1}(x), y'_{n,p+1}(x)], \qquad \text{avec} \quad y_{n,p}(x_n) = y_n \quad \text{et} \quad y'_{n,p}(x_n) = y'_n.$$

Nous dirons que

$$y_n(x_{n+1}) = \lim_{p \to \infty} y_{n,p}(x), \qquad \text{avec} \quad x_{n+1} = x_n + h.$$

Posons

$$z_{n,p}(x) = z_{n,p+1}(x) - z_{n,p}(x),$$

ce qui entraîne

$$z_{n,p}(x_n) = z'_{n,p}(x_n) = 0.$$

$z_{n.p}(x)$ est donc solution de l'équation différentielle du premier ordre :

$$2Y'_n(x)\,u(x) + Y_n(x)\,u'(x) = \varphi[x, y_{n,p}(x), y'_{n,p}(x)] - \varphi[x, y_{n,p-1}(x), y'_{n,p-1}(x)]$$

dont la solution répondant aux conditions initiales est

$$u_{n,p}(x) = \frac{1}{|Y_n(x)|^2}\int Y_n(x)\,\{\varphi[x, y_{n,p}(x), y'_{n,p}(x)] - \varphi[x, y_{n.p-1}(x), y'_{n,p-1}(x)]\}\,dx.$$

Supposons que sur l'intervalle d'étude $\Delta = (x_n, x_{n+1})$:

$$\left|\frac{\partial\varphi}{\partial y}(x, y, y')\right| \leqq M_n \qquad \text{et} \qquad \left|\frac{\partial\varphi}{\partial y'}(x, y, y')\right| \leqq N_n.$$

on aura d'après le théorème des accroissements finis :

$$|\varphi[x, y_{n,p}(x), y'_{n,p}(x)] - \varphi[x, y_{n,p-1}(x), y'_{n,p-1}(x)]| \leqq M_n|y_{n,p}(x) - y_{n,p-1}(x)| + N_n|y'_{n,p}(x) - y'_{n,p-1}(x)|.$$

La série des fonctions $z_{n.p}(x)$ peut alors être majorée par une série numérique qui sera convergente sur Δ si

$$\frac{|Y_n(x)|\cdot|Y_n(\zeta)|}{|Y_n(\xi)|^2}\,|Mh^2 + Nh| < 1, \qquad \text{avec} \quad \zeta \text{ et } \xi \in \Delta \qquad \text{et} \qquad Y_n(\xi) \neq 0,$$

ce qui entraîne la convergence uniforme de la série $z_{n,p}(x)$.

La détermination des trajectoires marginales par cette méthode se fait avec une précision comparable à celle obtenue dans le cas des trajectoires paraxiales, il suffit en effet de comparer les erreurs commises sur y_n et Y_n dans les exemples déjà traités pour le premier groupe de formules [2]; il apparaît donc intéressant pour les trajectoires marginales d'établir des expressions conduisant à des erreurs d'ordre respectivement 5 et 4 sur le calcul de y et y'.

Soient

$$\begin{cases} x_{ni} = x_n + \theta_i h, & \text{avec} \quad 0 < i < q; \\ y_{ni} = y_n + \theta_i h y'_n + \dfrac{h^2}{2}\displaystyle\sum_{j=0}^{i-1} B_{ij}\,y''_{nj}, & \text{»} \quad x_{n0} = x_n; \\ y'_{ni} = y'_n + h\displaystyle\sum^{i} A_{ij}\,y''_{nj}, & \text{»} \quad y_{n0} = y_n; \\ y_{n+1} = y_n + h y'_n + \dfrac{h^2}{2}\displaystyle\sum_{j=0}^{q-1} B_{qj}\,y''_{nj}, & \text{»} \quad z_{n0} = z_n; \\ y'_{n+1} = y'_n + h\displaystyle\sum_{j=0}^{q} A_{qj}\,y''_{nj} \end{cases}$$

les formules générales à partir desquelles on peut calculer y_{n+1} et y'_{n+1} en fonction des valeurs obtenues pour y_n et y_n.

On montre qu'à l'ordre $q = 2$ il est possible de déterminer les paramètres θ_i, B_{ij}, A_{ij}, B_{qj}, A_{qj}, de manière à réaliser $\alpha = 5$, $\beta = 4$; on a alors

$$y_{n+1} = y_n \left\{ 1 - \frac{h^2}{6}\left[f_n + 2 f_{n+\frac{1}{2}} - \frac{h^2}{4} f_{n+\frac{1}{2}} f_n \right] \right\} + y'_n h \left\{ 1 - \frac{h^2}{6} f_{n+\frac{1}{2}} \right\} + \frac{h^2}{6} \left\{ \Phi_n + 2\Phi_{n+\frac{1}{2}} - \frac{h^2}{4} f_{n+\frac{1}{2}} \Phi_n \right\}.$$

$$y'_{n+1} = -y_n \frac{h}{6} \left\{ f_n + 4 f_{n+\frac{1}{2}} - \frac{h^2}{2} f_{n+\frac{1}{2}} f_n \right\} + y'_n \left\{ 1 - \frac{h^2}{3} f_{n+\frac{1}{2}} \right\} - \frac{h}{6} f_{n+1} y_{n+1} + \frac{h}{6} \left\{ \Phi_n + 4\Phi_{n+\frac{1}{2}} + \Phi_{n+1} - \frac{h^2}{2} f_{n+\frac{1}{2}} \Phi_n \right\}.$$

Ces formules ont été appliquées avec un pas 0,01 à l'intégration numérique de l'équation différentielle déjà étudiée ([3]) :

$$y'' + \frac{3}{(1+x^2)^2} y = y^3 - x(1+x^2) y^2 y' + (1+x^2)^2 y y'^2, \qquad \text{avec} \quad x_0 = 0, \quad y_0 = 1, \quad y'_0 = 0.$$

Les résultats numériques sont présentés dans le tableau ci-joint :

x.	y_{exact}.	$\Delta y \times 10^{+10}$.	$-y'_{\text{exact}}$.	$\Delta y' \times 10^{+10}$.
0,00............	1,000 000 000 0	00	0,000 000 000 0	—000
0,20............	0,961 538 461 5	—08	0,369 822 485 2	—130
0,40............	0,862 068 965 5	—43	0,594 530 321 0	—196
0,60............	0,735 294 117 6	—68	0,648 788 927 3	—043
0,80............	0,609 756 097 5	+60	0,594 883 997 6	+112
1,00............	0.500 000 000 0	+32	0,500 000 000 0	+163

(*) Séance du 24 octobre 1960.

([1]) G. DUPOUY, *Éléments d'Optique électronique*, A. Colin, Paris, 1951.

([2]) *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 679.

([3]) *Comptes rendus*, 251, 1960, p. 863.

SPECTROSCOPIE. — *Sur un modèle à sphères rigides dans la théorie du déplacement et de l'élargissement par chocs des raies spectrales. Sphères rigides attractives.* Note (*) de MM. **Frédéric Schuller** et **Boris Vodar**, présentée par M. Jean Lecomte.

On effectue un calcul quantique du déplacement et de l'élargissement des raies spectrales, dus aux chocs entre atomes, en traitant le potentiel d'interaction comme une perturbation qui se superpose à un potentiel de sphères rigides. Dans le cas du potentiel de London, on retrouve les résultats d'une théorie quasi classique.

Dans une théorie de chocs, valable à basse pression, le déplacement D et l'élargissement E des raies spectrales sont donnés par les formules de Lindholm ([1]). Bien que ces formules aient d'abord été établies pour le cas où le mouvement des deux atomes entrant en collision s'effectue suivant des trajectoires classiques, on démontre ([1]), ([2]), ([3]), ([4]) qu'elles restent valables lorsque ce mouvement est représenté par une fonction d'onde ψ_{kl}. Elles s'écrivent alors

$$(1)\quad \begin{cases} \mathrm{D} = \left\langle -\dfrac{\hbar n}{2mk} \displaystyle\sum_l (2l+1) \sin\left[2(\hat{\delta}_l - \delta_l)\right] \right\rangle_{\mathrm{B}} & (\langle\,\rangle_{\mathrm{B}},\ \text{moyenne de Boltzmann}), \\ \mathrm{E} = \left\langle \dfrac{\hbar n}{mk} \displaystyle\sum_l (2l+1) \left\{1 - \cos\left[2(\hat{\delta}_l - \delta_l)\right]\right\} \right\rangle_{\mathrm{B}}. \end{cases}$$

Ici le paramètre continu k mesure le moment cinétique de la collision et est relié à l'énergie de translation E par la relation $k = h^{-1}\sqrt{2m\mathrm{E}}$; le nombre quantique angulaire l est lié au paramètre d'impact; m et n représentent respectivement la masse réduite des deux atomes et la densité numérique du gaz perturbateur. Les grandeurs δ_l pour l'état de base et $\hat{\delta}_l$ pour l'état excité sont les phases qui interviennent dans la forme asymptotique à distance infinie de la fonction d'onde ψ_{kl}. Elles caractérisent le choc et sont déterminées par la forme du potentiel d'interaction V.

Nous calculerons ces grandeurs par une méthode de perturbation, en utilisant à l'approximation zéro un potentiel V_0 de sphères rigides : $\mathrm{V}_0(r) = 0$, pour $r > \sigma$; $\mathrm{V}_0(r) = \infty$ pour $r < \sigma$.

Soit ψ^0_{kl} la fonction d'onde qui correspond à ce potentiel, nous écrivons $\psi_{kl} = \psi^0_{kl} + \chi_{kl}$ et nous exprimons la perturbation χ_{kl}, qui est due à un potentiel perturbateur $\mathrm{V}'(r)$ se superposant à V_0, au moyen d'une fonction de Green ([5]) :

$$\chi_{kl} = \int_0^{\infty} r'^2\, \mathrm{U}(r')\, \psi^0_{kl}(r')\, \mathrm{G}(r, r')\, dr' \qquad \left(\mathrm{U} = \frac{2m}{\hbar^2}\mathrm{V}'\right).$$

On démontre alors que la fonction de Green $\mathrm{G}(r, r')$ est donnée par

$$\mathrm{G}(r, r') = -\psi^0_{kl}(r')\,\frac{1}{r}\cos\left(kr - \frac{1}{2}l\pi + \delta^0_l\right).$$

Un calcul supplémentaire fournit ensuite pour la grandeur δ_l cherchée la relation

$$(2)\qquad \delta_l = \delta_l^0 - k\langle\psi_{kl}^0|\mathrm{U}|\psi_{kl}^0\rangle.$$

Nous supposons par la suite que le rayon σ, qui caractérise le potentiel V_0 est le même pour l'état de base et l'état excité, ce qui donne $\hat{\delta}_l^0 = \delta_l^0$. Ceci nous paraît justifié dans le cas d'une transition où le nombre quantique principal ne change pas (raies de résonance des alcalins). Le problème d'une variation de δ_l^0, qui est mathématiquement compliqué, sera discuté ultérieurement ([5]).

Le calcul de l'élément de matrice $\langle\psi_{kl}^0|\mathrm{U}|\psi_{kl}^0\rangle$ dans (2) s'effectue en remplaçant dans l'expression :

$$(3)\qquad \psi_{kl}^0 = \left|\mathrm{J}^2_{l+\frac{1}{2}}(k\sigma) + \mathrm{J}^2_{-l-\frac{1}{2}}(k\sigma)\right|^{-\frac{1}{2}}\left(\frac{\pi}{2kr}\right)^{\frac{1}{2}}\left\{\mathrm{J}_{-l-\frac{1}{2}}(k\sigma)\,\mathrm{J}_{l+\frac{1}{2}}(kr) - \mathrm{J}_{l+\frac{1}{2}}(k\sigma)\,\mathrm{J}_{-l-\frac{1}{2}}(kr)\right\}$$

les fonctions de Bessel $\mathrm{J}_{l+1/2}$ et $\mathrm{J}_{-l-1/2}$ par des expressions approchées, établies pour les grandes valeurs de l'indice et de l'argument ([6]). Ce calcul, dont nous ne donnerons ici que les résultats, nous oblige à distinguer les deux cas :

1° $l > k\sigma$, chocs non centraux;

2° $l < k\sigma$, chocs centraux.

On obtient, dans chacun des deux cas, une contribution différente pour le déplacement et l'élargissement, les valeurs réelles étant la somme des deux.

En utilisant un potentiel d'interaction de London en $-b/r^6$ on aboutit aux résultats suivants :

$$(4)\qquad \left\{\begin{aligned} \mathrm{D} &= -\tau n\frac{b}{\sigma^5}\frac{\pi}{\sqrt{4}} \\ \mathrm{E} &= \tau n\left(\frac{b}{\sigma^5}\right)^2\frac{18\pi^3}{128\sqrt{\pi}}\sqrt{\frac{m}{2\mathrm{KT}}} \end{aligned}\right\}\text{chocs non centraux,}$$

$$(5)\qquad \left\{\begin{aligned} \mathrm{D} &= -\tau n\frac{b}{\sigma^5}\frac{2}{5}(1+x)\,e^{-x} \\ \mathrm{E} &= \tau n\frac{50}{3\pi\sqrt{\pi}}\sqrt{\frac{2\mathrm{KT}}{m}}\left[1 + \frac{3}{2}\frac{1}{y}(\operatorname{sh} y - y\operatorname{ch} y)\,\mathrm{K}_2(y)\right] \end{aligned}\right\}\text{chocs centraux,}$$

où τ est la section efficace $\tau = \sigma^2\pi$, et $\mathrm{K}_2(y)$ la fonction de Bessel modifiée. Les expressions relativement compliquées de $x = (4\pi/5)(\sqrt{\pi}/4)^{1/3}\sqrt{m/2\mathrm{KT}}\,(b/\sigma^5)$ et de $y = (4\pi/5)(2/5)^{1/2}\sqrt{m/2\mathrm{KT}}\,(b/\sigma^5)$ dans (5) proviennent d'un calcul approché des moyennes de Boltzmann des équations (1). Dans certains cas, il est permis de poser $x, y \ll 1$ et d'utiliser les expressions ainsi simplifiées.

On constate que les résultats ci-dessus ne constituent que le cas limite classique de la théorie quantique. En effet, on peut montrer qu'on les

obtient également par la théorie aux trajectoires classiques de Weisskopf-Lindholm ([1]) quand on y introduit le modèle des sphères rigides avec chocs centraux et non centraux (c'est-à-dire avec des trajectoires $r(t)=\sqrt{\bar{v}^2t^2+\rho^2}$ pour $\rho > \sigma$ et des trajectoires $r(t)=\pm\sqrt{\bar{v}^2t^2+\sigma^2}$ pour $\rho < \sigma$). L'importance de la modification, produite par l'introduction d'un modèle de sphères rigides, est d'autant plus grande que le « rayon physique » σ approche ou dépasse le « rayon optique » : $\rho_0 = 3\,\pi b/4\bar{v}$. Un exemple où il en est ainsi concerne celui de Rb perturbé par A. Avec les valeurs : $b = 3{,}76.10^{-32}$ ([7]), $\sigma = 6{,}5$ Å, on trouve $\rho_0 = 0{,}67$ Å $\ll \sigma$; $D = -0{,}44$ cm^{-1}, $E = 0{,}83$ cm^{-1}. Ces valeurs sont plus proches des valeurs expérimentales $D = -0{,}51$ cm^{-1}, $E = 0{,}63$ cm^{-1} ([8]) que les valeurs $D = -0{,}18$ cm^{-1}, $E = 0{,}52$ cm^{-1}, données par la formule de Weisskopf-Lindholm ([1]). Cet accord n'apparaît cependant pas très significatif car σ et b sont actuellement très mal connus; ainsi le principal argument en faveur de l'usage d'un diamètre de choc physique réside dans le fait qu'on évite l'écueil de la formule de Weisskopf-Lindholm, prévoyant un rapport D/E constant, contrairement aux faits expérimentaux.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

([1]) E. Lindholm, *Thèse*, Uppsala, 1942.
([2]) Sobelman, *Thèse*, Moscou, 1955.
([3]) M. Baranger, *Phys. Rev.*, 111, 1958, p. 481.
([4]) F. Schuller, *Thèse* (à paraître *J. Rech. C. N. R. S.*).
([5]) L. I. Schiff, *Quantum Mechanics*, 2e éd., Mc Graw-Hill, 1955, p. 166.
([6]) G. Petiau, *La théorie des fonctions de Bessel*, C. N. R. S., 1955, p. 151.
([7]) Massey-Burhop, *Electronic and ionic impact phenomena*, Oxford, 1952, p. 597.
([8]) S. Y. Ch'en, *Rev. Mod. Phys.*, 29, 1957, p. 54.

(*Laboratoire des Hautes Pressions du C. N. R. S., Bellevue, Seine-et-Oise.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Réactions de réduction et d'alcoylation sur le cyano-9 benzoyl-10 anthracène.* Note (*) de MM. **Guy Rio** et **Bernard Sillion**, transmise par M. Charles Dufraisse.

Ce cétonitrile est réduit par certains magnésiens en son dihydrure-9.10. En présence de chlorure de benzyle, il y a, en plus, alcoylation en 9, conduisant au cyano-9 benzoyl-10 benzyl-9 dihydro-9.10 anthracène. Le chlorure de benzylmagnésium transforme le benzoyl-9 anthracène en benzoyl-9 benzyl-10 dihydro-9.10 anthracène et (benzyl-4 benzoyl)-9 anthracène, par deux additions 1,6 concurrentes.

Il a été récemment montré [1] que les cyano-9 anthracènes méso-alcoylés ou arylés réagissent avec le chlorure de benzylmagnésium uniquement par addition 1,6. S'il n'y a pas d'halogénure de benzyle en excès, on isole un cyano-9 benzyl-10 dihydroanthracène; dans le cas contraire, il y a alcoylation spontanée, conduisant au cyano-9 dibenzyl-9.10 dihydroanthracène.

Nous avons cherché à étendre ces réactions à un nitrile cétonique, le cyano-9 benzoyl-10 anthracène, XIII. Toutefois, afin de voir si le benzoyle pouvait intervenir pour son propre compte dans la réaction, nous avons au préalable étudié le comportement du benzoyl-9 anthracène, III.

1. Le chlorure de benzylmagnésium, seul ou avec un excès de chlorure de benzyle, transforme le benzoyl-9 anthracène, III, en un mélange de deux composés : le benzoyl-9 benzyl-10 dihydro-9.10 anthracène, I (Rdt 11 %), déjà décrit [2] et le (benzyl-4 benzoyl)-9 anthracène, IV.

Ce dernier, $C_{28}H_{20}O$, dimorphe, F_{inst} 118-120°, resolidification et seconde fusion à 124-125°, est obtenu en prépondérance (Rdt 35 %); sa structure est démontrée par oxydation chromique, qui fournit de l'anthraquinone et de l'acide *p*-benzoylbenzoïque, V ([3]).

On peut considérer que les deux composés I et IV résultent de deux additions 1,6 du magnésien, orientées par le carbonyle. L'une, à travers le noyau anthracénique, donne l'énolate magnésien II, hydrolysé en composé dihydroanthracénique I; on peut noter qu'on n'a pas observé d'alcoylation de l'énolate II par le chlorure de benzyle. L'autre addition 1,6, à travers le noyau benzénique, conduirait à un dérivé dihydrobenzénique qui, selon toute vraisemblance, s'aromatiserait directement en donnant le composé IV.

La formation préférentielle de ce dernier composé doit sans doute être attribuée à une plus grande conjugaison entre carbonyle et noyau benzénique, coplanaires, qu'entre carbonyle et noyau anthracénique, non coplanaires, ainsi qu'en témoigne le spectre ultraviolet du benzoyl-9 anthracène, très proche de celui de l'anthracène ([4]).

2. Le cyano-9 benzoyl-10 anthracène, XIII, $C_{22}H_{13}ON$, dimorphe, F_{inst} 184-185°, resolidification et seconde fusion à 187-188°, a été obtenu par cyanuration de la cétone bromée, déjà connue ([5]), à l'aide de CuCN.

Lorsqu'il est traité par le magnésien benzylique contenant un excès de $C_6H_5CH_2Cl$, on observe la formation immédiate d'un complexe brun-rouge qui devient lentement beige. Le seul composé isolé (Rdt 60 %), même après chromatographie, est le cétonitrile monobenzylé, X *a*, $C_{29}H_{21}ON$, dimorphe, F_{inst} 167-168°, resolidification et nouvelle fusion à 175-176°. Sous l'influence des bases fortes (triton B), sous vide, il subit une scission hydrolytique du benzoyle conduisant au cyano-9 benzyl-9 dihydro-9.10 anthracène, IX, $C_{22}H_{17}N$, F_{inst} 147-148°, et à de l'acide benzoïque. L'anhydride acétique dans la pyridine le transforme en acétate d'énol, VIII, $C_{31}H_{23}O_2N$, F_{inst} 177-178°; l'oxydation chromique de ce dernier donne la cyano-9 benzyl-9 anthrone-10, VII, obtenue par ailleurs ([1b]). Ces réactions montrent bien que le cyano et le benzyle du cétonitrile benzylé, X *a*, sont géminés.

En prenant la précaution d'éliminer totalement le chlorure de benzyle en excès du magnésien benzylique (par ébullition prolongée avec un excès de métal), le cyano-9 benzoyl-10 anthracène, XIII, est transformé en un complexe brun-rouge, qui cette fois ne se décolore pas. La décoloration se produit en ajoutant du chlorure de *p*-chlorobenzyle; on obtient alors le cétronitrile chlorobenzylé, X *b*, $C_{29}H_{20}ONCl$, F_{inst} 185-186°.

Par hydrolyse du complexe brun-rouge obtenu par action du magnésien seul, on recueille, après chromatographie, à côté d'anthraquinone et de cétonitrile initial, XIII, une faible quantité de cyano-9 benzoyl-10 dihydro-9.10 anthracène, XII, $C_{22}H_{15}ON$, F_{inst} 190-192°. Ce dernier

composé se forme également en traitant le cétonitrile XIII par le bromure d'isopropylmagnésium ou par le chlorure de *t*-butylmagnésium.

Des réactions précédentes, on peut déduire que la formation des cétonitriles benzylés, X, dépend de la présence d'halogénure de benzyle dans le milieu. Le magnésien benzylique n'introduit pas lui-même le groupe benzyle, et son rôle se borne, comme celui des magnésiens isopropylique et *t*-butylique, à former un intermédiaire susceptible d'être alcoylé. Cet intermédiaire possède sans doute la structure VI, à la fois énolate et cétène-iminate, qui répond en effet aux deux conditions nécessaires. S'il n'y a pas d'halogénure benzylique, l'hydrolyse conduit au dihydrocétonitrile, XII. En présence d'halogénure, par une alcoylation comparable à celle qui a été envisagée dans des cas semblables ([1]), on obtient un second intermédiaire, énolate magnésien, XI, beaucoup moins réactif vis-à-vis de l'halogénure et donnant par hydrolyse le cétonitrile benzylé, X.

Un mécanisme par addition 1,6, orienté par le cyano ou par le carbonyle, ne peut rendre compte simplement de la formation de l'intermédiaire énolate et cétène-iminate, VI. Il semble préférable d'admettre une réduction du cétonitrile, XIII, sous l'influence de l'organométallique.

A notre connaissance, cette réaction est inconnue jusqu'à maintenant pour des composés anthracéniques méso-disubstitués (tels que dicyano-9.10 anthracène et dibenzoyl-9.10 anthracène). Cette réduction s'apparente néanmoins à celles qui ont été observées lorsque le cyano-9 anthracène ([6]) et le benzoyl-9 anthracène ([7]) sont traités par certains magnésiens, bien que, dans ces deux cas, il y ait duplication conduisant à des dérivés du tétrahydrodianthranyle. On peut rattacher tous ces exemples à la transformation, par les magnésiens, des azoïques en hydrazoïques ([8]), pour laquelle on admet un mécanisme radicalique.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) *a.* G. Rio et B. Sillion, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 256; *b. ibid*, 250, 1960, p. 869.

(2) J. W. Cook, *J. Chem. Soc.*, 1926, p. 2160.

(3) Th. Zincke, *Liebigs Ann.*, 161, 1872, p. 93.

(4) E. de Barry-Barnett, J. W. Cook et T. E. Ellisson, *J. Chem. Soc.*, 1928, p. 885.

(5) J. W. Cook, *J. Chem. Soc.*, 1926, p. 1282.

(6) R. Calas et R. Lalande, *Comptes rendus*, 240, 1955, p. 2239.

(7) P. L. Julian, W. Cole et T. F. Wood, *J. Amer. Chem. Soc.*, 57, 1935, p. 2508.

(8) M. S. Kharasch et O. Reinmuth, *Grignard Reactions of non Metallic Substances*, Prentice-Hall, New-York, 1954, p. 117 et 1249.

GÉOLOGIE. — *La « série du Pedroso », série-type d'une zone paléogéographique nouvelle dans le Jurassique des Cordillères Bétiques.* Note (*) de M. **Yves Peyre** transmise par M. Paul Fallot.

Parmi les travaux modernes sur la géologie de l'Andalousie, se détachent ceux de M. Blumenthal et de P. Fallot. Sur la base d'études régionales détaillées, ils ont proposé un schéma paléogéographique et structural qui constitue un cadre commode pour de nouvelles études. Les observations qui suivent précisent ce schéma en ce qui concerne la zone « subbétique » de ces auteurs ([1]), ([2]).

La région située entre Archidona et Rute, à la limite des provinces de Cordoue, Grenade et Malaga, n'avait pas encore été étudiée d'une manière précise. Dans un travail préliminaire ([3]), nous avons décrit les formations liasiques de cette zone et souligné les particularités qui les différencient des couches contemporaines qu'on trouve plus au Nord (région d'Estepa) et plus au Sud (Pénibétique du Castillones et Jurassique du Palo de Malaga). Des différences du même ordre existent pour les séries plus récentes.

Cette Note a pour but de décrire sommairement trois séries stratigraphiques et de souligner leurs particularités.

Une première série, synthétique, est prise dans la région d'Estepa [*cf.* ([3]), schéma n° 1]. On y distingue successivement de bas en haut :

1. des masses assez importantes de dolomies, attribuées au Lias inférieur (?);

2. une série de calcaires (200-300 m), plus ou moins bien lités, très souvent oolitiques, riches en encrines et en Brachiopodes qui ont permis d'y reconnaître plusieurs niveaux depuis le Lias inférieur jusqu'à l'Aalénien moyen;

3. des calcaires oolitiques, bien lités admettant des passées de calcaires rouges; la plus ancienne a été datée du Bajocien moyen par des Brachiopodes associés à de très nombreuses encrines, les autres présentent un faciès de calcaire noduleux rouge, dit encore « fausse brèche » ou « faciès andalou ». Ces passées de calcaire noduleux sont extrêmement fossilifères, surtout en Céphalopodes; elles apparaissent dès l'Argovien et on les retrouve au Tithonique et au Berriasien définis grâce aux Calpionelles;

4. une épaisse série marneuse, s'enrichissant en marno-calcaires vers le haut. L'Hauterivien et le Barrémien y ont été mis en évidence grâce à des faunes d'Ammonites. Ces roches sont très riches en *Nannoconus* ([4]);

5. la série marno-calcaire se poursuit sans changements notables de faciès dans le Crétacé moyen (Vraconnien-Cénomanien) identifié grâce aux microfaunes et aussi à quelques Céphalopodes ([5]);

6. le Crétacé supérieur redevient plus marneux; seules les microfaunes ont permis d'en débrouiller la stratigraphie. A partir du Turonien apparaissent des marnes rose saumon caractéristiques ([5]);

7. les couches de passage du Crétacé à l'Éocène qui ont de fortes chances d'exister dans cette région, n'ont pu encore être mises en évidence.

La seconde série étudiée est prise dans la région située entre Archidona et Rute, au voisinage des Sierras du Pedroso et d'Arcas. De la base au sommet :

1. des dolomies rarement visibles;

2. une série calcaire (100-200 m) dont le sommet a été daté du Pliensbachien au Pedroso ([3]). Au-dessus du Pliensbachien, marnes et marno-calcaires prennent rapidement une grande importance, à certains niveaux apparaissent des silex. Des Ammonites ont permis de dater ces assises depuis le Domérien jusqu'à l'Aalénien supérieur ([3]);

3. une épaisse série de marnes, parfois riche en bancs de silex, surmonte la série liasique; dans les niveaux de base elle n'a livré que des Radiolaires et des organismes énigmatiques (« filaments » *auctorum*) rapportés à de petits Lamellibranches (?); outre la position stratigraphique, c'est le seul argument qui porte à les rapporter au Dogger. Dans les niveaux plus élevés, on trouve, au sein de formations marneuses souvent rougeâtres, des bancs de calcaires microbréchiques très souvent riches en *Aptychus*: Le long du chemin de fer de Bodadilla à Grenade certaines associations d'*Aptychus* (étudiés par M. Durand Delga) définissent le Jurassique supérieur : km 37,2, *Lamellaptychus* gr. *aplanatus, L.* gr. *beyrichi, Punctapt.* gr. *punctatus*; km 38,5, *L. bourdeti, L.* gr. *beyrichi.* Certains de ces bancs ont livré des Calpionelles du Tithonique supérieur et du Berriasien;

4. la base du Crétacé inférieur présente le même faciès de marnes calcaires souvent rougeâtres que le Jurassique supérieur. L'Hauterivien-Barrémien est caractérisé par : *L.* gr. *atlanticus* (?), *L.* gr. *angulicostatus, L.* voisin d'*angulicostatus*;

4'. il se continue par des marnocalcaires clairs à *Nannoconus*, à faciès identique à celui du Barrémien des environs d'Estepa;

5-6. le reste de la série crétacée n'a pas encore été identifiée d'une manière précise dans cette zone.

La troisième série est prise au Sud-Ouest d'Antequera, dans le massif de Valle de Abdalagis. Au rocher de Castillones, on trouve de la base au sommet :

1. des dolomies appartenant probablement au Lias inférieur ayant environ 50 m d'épaisseur (base « rhétienne » ?);

2. des calcaires peu épais (30 m environ); au Castillones leur base est marquée par un conglomérat (3 m) à galets de dolomies; à très faible distance au-dessus du conglomérat le calcaire, riche en encrines, a fourni une faune d'Ammonites et de Brachiopodes du Pliensbachien ([3]);

2'. des calcaires à silex (quelques mètres);

2''. des marnes calcaires assez gréseuses (moins de 10 m);

3. une importante masse de calcaires lités dans laquelle ont été repérés le Bathonien (par la Mission d'Andalousie) et le Callovien ([3]) (150 m environ) et qui se termine par un niveau de calcaires noduleux clairs appartenant au Tithonique supérieur-Berriasien, daté par des Calpionelles.

Dans le chaînon voisin et plus septentrional : la Sierra de Huma, la série du Jurassique supérieur est plus épaisse et plus variée : dans une masse importante de calcaires oolitiques apparaissent des lentilles de calcaire noduleux rouge de type fausse brèche. Il en existe plusieurs passées et la première d'entre elles a été datée de l'Argovien par des faunes d'Ammonites. On retrouve le niveau de fausses brèches claires du Tithonique supérieur-Berriasien daté par des Calpionelles. Puis viennent :

4. des marnocalcaires et des calcaires marneux clairs d'épaisseur variable extrêmement riches en *Nannoconus* du Crétacé inférieur;

5. le Crétacé moyen qui vient au-dessus est constitué de formations toujours minces mais dont le faciès est très variable (5), il est de plus transgressif sur le Crétacé inférieur et même parfois sur les calcaires jurassico-berriasiens. Dans le chaînon voisin et homologue du Torcal la base du Crétacé moyen est marquée par un karst analogue à celui du Palo de Malaga (5);

6. des marno-calcaires blancs et rouge-saumon, épais, succèdent au Crétacé moyen et l'on rencontre ce même faciès jusque dans l'Éocène inférieur.

Cette dernière série possède un Jurassique assez comparable à celui d'Estepa; on y observe en particulier les mêmes passées de calcaire noduleux rouge dans le Jurassique supérieur; par contre, les formations crétacées sont nettement différentes. Ce qui interdit de les grouper dans une même zone paléogéographique.

Entre les séries septentrionales (Estepa) et méridionales (Castillones) qui possèdent certains traits communs, s'intercale une série (Pedroso) très distincte; parmi ses caractéristiques, je retiendrai les suivantes qui me paraissent essentielles :

1° abondance de formations marneuses dès le Lias, tout au long des temps jurassiques;

2° absence de faciès « fausse brèche » dans le Jurassique supérieur et particulièrement au Tithonique.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) M. Blumenthal, *Bull. Soc. géol. Fr.* (5), 1, 1931, p. 25-94.

(2) P. Fallot, *Est. Geologicos*, Madrid, n° 8, 1948, p. 83-172.

(3) G. Dubar, N et Y. Peyre, *Observations nouvelles sur le Jurassique inférieur et moyen dans les cordillères bétiques sur la transversale de Malaga*, à paraître *Bull. Soc. géol. Fr.*

(4) Y. Peyre, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2137.

(5) M. Durand Delga, J. Magné et Y. Peyre, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2796.

(*Laboratoire de Géologie du Collège de France.*)

GÉOLOGIE. — *Existence de formations détritiques dans les schistes cristallins du massif de la Dora-Maïra (Alpes cottiennes piémontaises).* Note (*) de M. **Pierre Vialon**, transmise par M. Léon Moret.

Le massif de Dora Maïra, l'un des « massifs cristallins internes » des Alpes occidentales, constitue un vaste ensemble de terrains métamorphiques qu'on subdivise habituellement en deux groupes distincts :

— la série graphitique de Pignerol;

— les gneiss de Dora Maïra [gneiss à grains fins (« gneiss minuti ») et gneiss œillés].

Les relations entre ces deux formations, leur origine et leur âge, tels sont les principaux problèmes posés aux géologues travaillant dans cette région.

Les anciens auteurs italiens ([1]) admettaient l'existence d'un passage continu entre la zone graphitique et les gneiss sous-jacents formant l'ossature du massif de Dora Maïra. La carte italienne au 1/100 000e ([1]), établie au début du siècle, attribue la série graphitique de Pignerol au Carbonifère, sans autre preuve d'ailleurs que la présence de matière charbonneuse. Les gneiss de Dora Maïra, et en particulier les « gneiss ghiandoni », bien que notés en « orthogneiss », sont décrits comme des roches d'origine énigmatique mais non nécessairement éruptive.

Pour G. Dal Piaz ([2]), les gneiss de Dora Maïra sont d'origine ortho certaine et représentent un vieux matériel précambien, déjà métamorphisé et injecté de roches granitiques dès avant le début du Primaire (p. 141). Sur ce socle érodé, la série graphitique et détritique de Pignerol, carbonifère, se dépose en discordance (p. 134-135).

Depuis, R. Michel ([3]), a précisé l'appartenance à un même ensemble cristallophyllien d'origine sédimentaire et selon lui d'âge antéhouiller, des gneiss de Dora Maïra et de la série graphitique de Pignerol.

Mes travaux en cours, au Sud du parallèle de Pignerol, apportent quelques éléments nouveaux à la solution de ces problèmes.

Le massif de Dora Maïra est constitué par un seul ensemble cristallophyllien comportant à sa base des horizons graphiteux. Cette série graphiteuse est essentiellement composée de micaschistes et de gneiss albitiques. Localement on y trouve aussi des horizons conglomératiques, à pâte quartzitique plus ou moins gneissique, englobant des galets de quartz et de gneiss extrêmement étirés. Toutes ces roches sont plus ou moins chargées de produits graphitiques, et comportent par endroits des niveaux uniquement graphiteux, exploités, surtout dans la vallée du Chisone. La zone

graphitique a une valeur d'anticlinal au sein des gneiss de Dora Maïra auxquels elle passe de façon continue vers le haut, et où l'on retrouve parfois de faibles récurrences graphiteuses.

L'unité de la série purement gneissique et de la série graphitique et détritique étant admise, il ne paraît pas anormal de chercher dans les gneiss de Dora Maïra des zones tout aussi détritiques. C'est effectivement ce que mes études ont permis de mettre en évidence. Certains gneiss œillés présentent un faciès à gros yeux de microcline à allure embréchitique, mais la plupart des grandes bandes d' « orthogneiss » ou de « gneiss œillés », de la carte italienne, se révèlent être d'anciens conglomérats. Des galets, étirés, quoique de façon moindre que dans le complexe graphitique, sont inclus dans une pâte gneissique ou micaschisteuse. Cette « pâte » est à biotite (probablement détritique), riche en quartz et en mica blanc, localement à gros feldspaths. Les galets, dont la taille moyenne approche les 10 cm, sont généralement quartzitiques, mais il y a aussi des éléments gneissiques et granitiques. Très rarement on rencontre des galets noirâtres de laves basiques. Ces conglomérats métamorphiques, parfois lenticulaires, se présentent en général en horizons très continus et peuvent atteindre plus de 50 m de puissance. Latéralement, ils passent parfois à des gneiss quartzitiques.

Les formations du contexte sont aussi essentiellement détritiques. Les quartzites sont abondants, plus ou moins micacés, peuvent contenir localement des galets granitiques, et sont souvent feldspathiques, les feldspaths potassiques ayant généralement une origine détritique. Ces quartzites se poursuivent par des bancs micaschisteux plus nettement pélitiques. Des niveaux dolomitiques plus ou moins marmorisés sont interstratifiés dans ces formations. Enfin, d'anciennes roches volcaniques basiques, transformées en amphibolites, s'intercalent souvent au sein de la série.

En résumé, la partie étudiée du massif de Dora Maïra s'avère être d'origine essentiellement détritique. Des grès, des arkoses, avec de gros niveaux conglomératiques, sont métamorphisés avec une intensité qui ne semble pas atteindre la zone à biotite. Outre l'albitisation, toujours présente mais récente, existe une feldspathisation plus ancienne, locale, qui conduit aux faciès embréchitiques signalés ci-dessus. Si cette feldspathisation est effective, elle pose un problème qu'il serait tentant de résoudre par une simple remobilisation sur place du matériel feldspathique détritique.

En ce qui concerne l'*âge des formations du massif de Dora Maïra*, on en est réduit à des suppositions. Il nous est cependant permis de comparer ce massif à des séries réputées permiennes et aux caractères lithologiques très analogues. En effet, la série toute voisine d'Acceglio-col Longet, la série supérieure d'Ambin, le Permo-Carbonifère de la Vanoise, les schistes de Casanna du Val de Bagnes, seraient susceptibles d'appartenir à la même zone paléogéographique. Si cela est exact, *les schistes cristallins du massif*

de Dora Maïra seraient, pour la plus grande part, également d'âge permo-houiller. Pour le moment, nous nous bornerons à signaler cette possibilité, en nous gardant de vouloir déjà tirer des conclusions d'ordre stratigraphique trop hâtives.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) S. Franchi, E. Mattirolo, V. Novarese et A. Stella, *Cartes géologiques d'Italie au 1/100 000e* : nº 55, 1890-1910, nº 67, 1890-1910, nºs 78-79, 1930.

(2) G. Dal Piaz, *Boll. della Soc. geologica italiana*, vol. 68, 1939, p. 105-152.

(3) R. Michel, *C. R. som. séances Soc. géol. Fr.*, nºs 5-6, 1955, p. 99.

(*Laboratoire de Géologie et Minéralogie de la Faculté des Sciences de Grenoble.*)

GÉOPHYSIQUE APPLIQUÉE. — *Prospection gravimétrique par mesure directe des dérivées secondes verticales de l'intensité de la pesanteur.* Note (*) de M. **Pham-Van-Ngoc**, présentée par M. André Danjon.

On mesure les dérivées secondes verticales en disposant, sur le terrain, des groupements appropriés de stations complètement indépendants l'un de l'autre. Chaque groupement se compose d'une station centrale et de plusieurs stations marginales. Les mesures topographiques et les mesures gravimétriques peuvent être effectuées ainsi avec le maximum de précision. Quant aux corrections de relief, en général très petites, elles sont calculées globalement pour allier simplicité, rapidité et précision.

Pour d'excellentes raisons, les prospecteurs s'efforcent de fonder l'interprétation gravimétrique sur la carte de dérivées secondes $\partial^2 g/\partial z^2$ (z, altitude) plutôt que sur celle de la pesanteur g elle-même. Les dérivées qu'ils utilisent ne sont en fait que de « pseudo-dérivées ». Le mode de calcul les a dépouillées, avec grand avantage, des énormes influences très locales, d'origine strictement superficielle, qui affecteraient de « véritables » dérivées. On obtient malheureusement ces pseudo-dérivées en partant de valeurs de g, dont la précision est bien inférieure à celle que peuvent atteindre les gravimètres modernes. Encore faut-il ajouter que c'est généralement par interpolation que ces valeurs de g sont relevées sur la carte des anomalies de Bouguer.

Comme l'a proposé L. Cagniard ([1]), on peut obtenir ces pseudo-dérivées secondes par une technique de mesure très différente de la technique courante. Soient $M_1, M_2, \ldots, M_n$ les n sommets d'un polygone régulier de centre O, inscrit dans un cercle de rayon r. Le sol étant supposé horizontal, la valeur C de la pseudo-dérivée, en O, serait

$$C = \frac{4}{nr^2}[n\,g(O) - g(M_1) - g(M_2) - \ldots - g(M_n)].$$

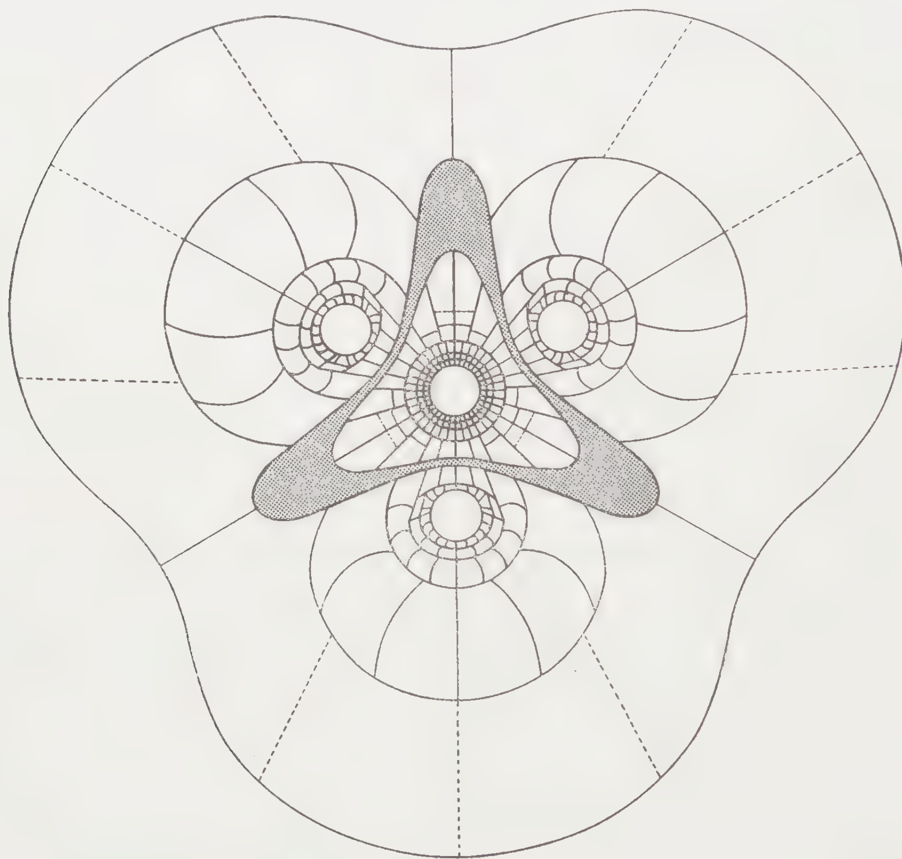
Le choix du type de groupement et la valeur du rayon r à adopter dépendent de la nature du terrain et du problème particulier qui se pose au prospecteur. Dans la pratique, on utilisera par exemple un triangle équilatéral, avec $r = 500$ m ou davantage dans telle ou telle prospection pétrolière, un carré avec $r = 50$ m ou moins encore dans telle ou telle prospection minière. On va donc transporter successivement le gravimètre au centre et aux sommets pour connaître les *différences* brutes de g entre ces $n + 1$ stations de mesure, et l'on évaluera C d'après la formule, quitte à effectuer ensuite la réduction au plan.

Les avantages du procédé sont les suivants :

1° La cote absolue de la station O n'intervient pas. Toute la topographie est *relative* à la station centrale. Les *différences* d'altitude entre les stations du groupement sont facilement connues avec toute la précision voulue.

2° Dans la formule n'interviennent que les différences relatives de g entre les $n+1$ stations du groupement. Vu la rapidité d'exécution des mesures, les néfastes effets de dérive ne sont plus à craindre et l'on peut utiliser à plein l'extrême précision d'un gravimètre Worden.

3° Une station de dérivée se place où l'on veut, quand on veut et comme on veut. On peut donc se contenter au départ de mesures relativement espacées. Si les résultats obtenus dans une reconnaissance régionale très sommaire font apparaître des anomalies intéressantes, il sera toujours



loisible d'intercaler de nouvelles stations, là seulement où il en faut, et sans exagérer inutilement leur nombre.

4° Du fait que les valeurs de g peuvent être « réduites » au niveau local et n'ont plus besoin de l'être à un niveau régional unique, tel que le niveau de la mer, on voit disparaître du même coup les énormes corrections de plateau et d'air libre, si gravement affectées par les erreurs d'altitude et par les incertitudes sur les densités.

5° Les influences de relief sont très locales, en raison même de ce qu'il s'agit de dérivées. En fait, une masse topographique, éloignée de O d'un petit nombre de fois la longueur r, affecte fortement les valeurs de g en O, en M_1, ..., en M_n, mais les affecte toutes à peu près de la même

quantité. Par le jeu des compensations, la pseudo-dérivée C ne se trouve que très peu modifiée. Ce serait donc très maladroit que d'évaluer les influences de relief, isolément, en chaque station du groupement. C'est pourtant ainsi qu'on opère implicitement quand on cherche à calculer C à partir d'une carte d'anomalies de Bouguer.

Ces considérations conduisent à calculer la correction de relief par une évaluation globale de la perturbation dont chaque masse topographique affecte la valeur de C. L'abaque de correction topographique figuré ci-contre, d'un principe très classique, se rapporte à la disposition en triangle équilatéral centré.

Les corrections sont positives dans la zone centrale, négatives dans la zone extérieure. Dans la zone représentée en grisé, elles sont pratiquement nulles. Pour une cote z donnée, toutes les mailles ont même valeur, proportionnelle à z^2. Dans la dernière couronne de l'abaque, les mailles occupent une étendue énorme, de sorte qu'elles ont été fractionnées en quatre par des lignes pointillées.

Les corrections deviennent assurément plus complexes, plus délicates à mettre en œuvre et moins précises en terrain très accidenté, comme il advient souvent en prospection minière. Néanmoins, pour les raisons qu'on a dit, la nouvelle technique peut encore très souvent réussir là où la gravimétrie classique échoue. Elle garantit, dans tous les cas, une précision très supérieure. Elle peut compléter la gravimétrie classique. Elle peut aussi la remplacer avantageusement.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) En particulier brevet français n° 1.201.433, demandé le 4 septembre 1957, délivré le 15 juillet 1959.

(Centre d'Études géophysiques, Garchy, Station du Nivernais.)

PHYSIQUE DE L'ATMOSPHÈRE. — *Manomètre thermique utilisable à bord de fusées depuis le sol jusqu'à* 90 km. Note (*) de M. **Guy Israël**, présentée par M. Jean-Jacques Trillat.

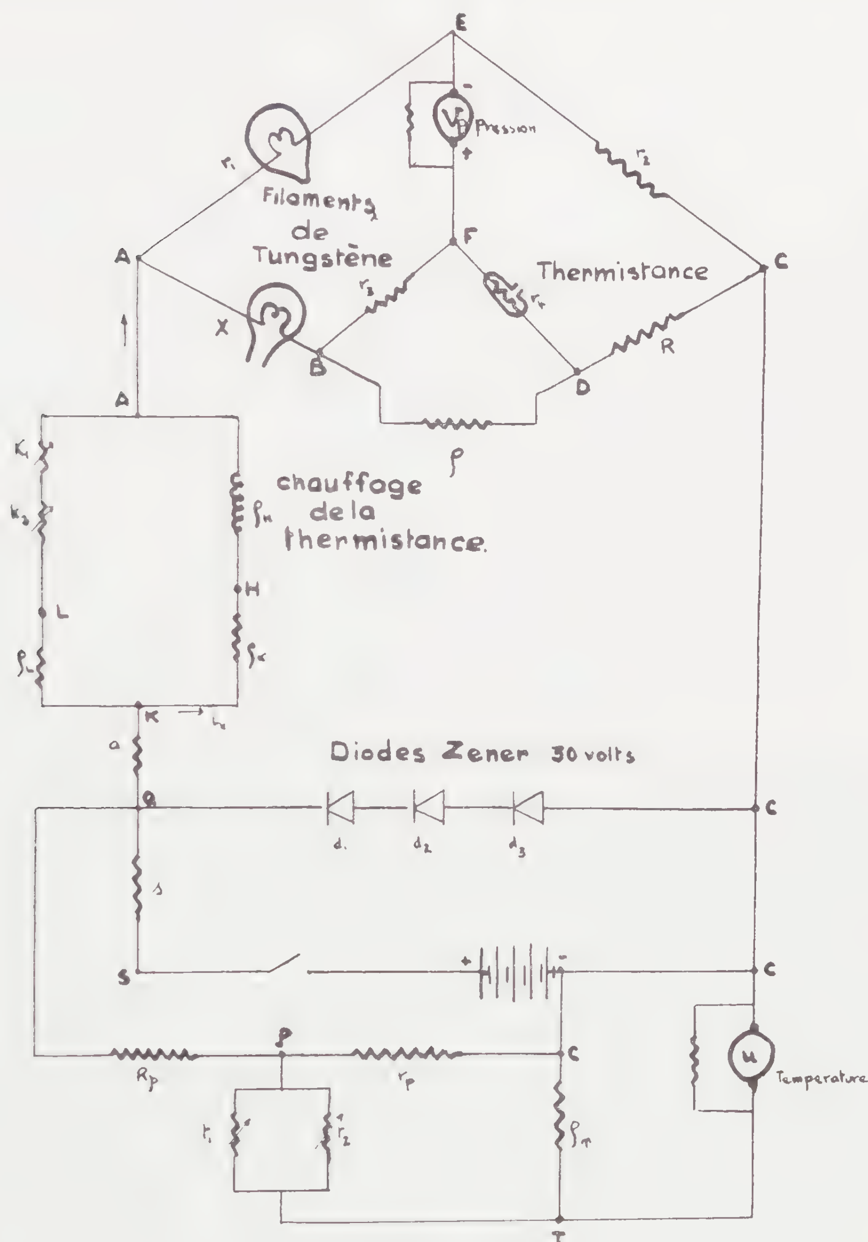
Description d'un appareil permettant d'effectuer à bord de fusées, des mesures de la pression depuis le début de la trajectoire jusqu'à 90 km. Son indication, donnée en tension, est suffisamment élevée pour être transmise au sol par télémesure sans amplification et sous faible impédance. Son temps de réponse est relativement faible, et les effets des variations de température sont compensés automatiquement.

Les premières mesures effectuées à bord d'engins autopropulsés ont montré les difficultés rencontrées dans la détermination de la pression, de la densité et de la température ([1]), ([2]). En particulier, on sait qu'à partir de 90 km, les considérations aérothermodynamiques qui permettent de passer de la pression réelle à la pression mesurée ne sont plus valables dès que le libre parcours moyen devient de l'ordre de grandeur des dimensions des capteurs. D'autres facteurs imposent cette limite qui correspond au passage du régime de glissement au régime transitoire ; ce sont l'épaississement de la couche limite, la diminution du nombre de Reynolds et la pression des gaz résiduels qui s'échappent de l'engin. D'autre part, si l'on veut pouvoir mesurer les pressions d'arrêt qui sont en général vingt fois plus élevées que les pressions ambiantes, et obtenir des résultats au moins à partir de 30 km, il faut chercher à étendre le domaine de mesure le plus possible vers les hautes pressions.

C'est pourquoi nous avons réalisé une jauge de pression destinée à être montée à bord d'un engin Véronique et fonctionnant depuis le sol et jusqu'à 90 km. Afin d'obtenir comme indication de pression, une tension de sortie suffisamment élevée, nous avons choisi un manomètre thermique du type Pirani. A. W. Smith ([3]), ayant montré que le domaine normal de la jauge de Pirani pouvait être étendu jusqu'à la pression atmosphérique, en prenant un deuxième élément sensible, non plus à résistance métallique, mais à thermistance, nous avons monté en opposition dans un pont double de Lord Kelvin, alimenté sous tension constante, les deux éléments manométriques. Le premier élément est sensible aux basses pressions ; le deuxième élément, qui est une thermistance miniature à chauffage indirect, est sensible aux fortes pressions. Leurs coefficients de température étant de sens contraire, ils agissent dans le même sens sur la tension de déséquilibre du pont. On observe alors que l'indication en tension V_P de la jauge diminue dès que la pression atmosphérique varie. En adoptant le montage de la figure 1, et en réglant le chauffage de la thermistance, on peut choisir une sensibilité du pont telle que le fonctionnement normal de la jauge ne soit pas modifié aux basses pressions ; la résistance de la thermistance devenant négligeable, la symétrie du pont de Wheatstone est respectée.

D'autre part, les éléments sensibles étant de dimensions réduites, le temps de réponse de la jauge est relativement peu élevé (une demi-seconde pour 200 μ de mercure).

Les appareils de mesure équipant un engin pouvant être portés à des



températures atteignant parfois 60 à 70° C, si l'on veut utiliser un manomètre thermique dont la sensibilité même est essentiellement variable avec la température de ses parois, il devient nécessaire d'effectuer un contrôle et même une compensation de la température. Grâce à deux thermistances (k) incorporées dans la paroi du manomètre, le courant

d'alimentation, d'une part, et le courant de chauffage indirect de la thermistance, d'autre part, sont liés aux variations de la température des parois. De la sorte lorsque celle-ci passe de 20 à 70° C, la pente de la courbe d'étalonnage reste sensiblement la même. Ayant relevé la variation de V_{PA} à la pression atmosphérique en fonction de la température des parois, on note qu'au lieu de diminuer brusquement avec la température, V_{PA} garde une valeur comprise entre 4,40 et 5 V. Deux thermistances perles (t) également fixées contre les parois du manomètre servent de contrôle de la température de celles-ci.

Mise au point pour effectuer une mesure de la pression statique, la jauge se présente sous la forme d'un boîtier métallique dont la face avant, légèrement courbée, vient se fixer contre la paroi intérieure de l'engin. Deux orifices ménagés dans cette paroi et dans la face avant du boîtier permettent le passage des tubes de prise de pression statique. Le boîtier, contenant les lampes en verre protégées par des lanières de caoutchouc, les thermistances thermométriques et celles de compensation, est entièrement rempli d'araldite F possédant une très forte inertie thermique et dont la température d'inflexion est très élevée.

Nous avons cherché à faire un appareil d'un emploi facile; il était indispensable d'avoir sur la même échelle et avec le même instrument des résultats dès le début de la trajectoire de l'engin et jusqu'à 90 km d'altitude. Nous avons montré que le montage des éléments en pont double de Lord Kelvin était particulièrement approprié à notre utilisation. L'araldite s'est révélée, malgré sa densité élevée (1,45 à 1,55) d'un emploi très commode, assurant à la fois une fixation des éléments qui présente une grande résistance mécanique, ainsi qu'un isolement électrique et thermique efficace. Le procédé de compensation thermique employé a été rendu possible grâce aux récents progrès réalisés sur les résistances à coefficient de température négatif.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) R. Jastrow, Astronautics, *Publication of the American Rocket Society*, juillet 1959.

(2) N. W. Spencer et R. L. Bogges, *American Rocket Society Journal*, janvier 1959, p. 68.

(3) A. W. Smith, *The Review of Scientific Instruments*, 30, n° 6, 1959, p. 485.

(*Laboratoire de Physique de l'Atmosphère de la Faculté des Sciences de Paris et Centre d'Études des Projectiles Autopropulsés.*)

GRANULOMÉTRIE. — *Quelques observations sur l'utilisation et la valeur des méthodes de tamisage mécanique.* Note (*) de M. **Louis Amoureux**, présentée par M. Louis Fage.

Ayant en vue de procéder à des études granulométriques par tamisage, nous avons cru utile de rechercher les meilleures conditions d'utilisation de ce procédé.

Nous avons employé successivement des échantillons de sables marins intercotidaux, différant entre eux par leur nature et leur masse; nous les avons soumis chacun à trois tamisages de durée de plus en plus élevée : 8,15 et 30 mn, avec un appareil ROTO-LAB, sur une série de tamis AFNOR de mailles comprises entre 1620 et 39 μ, en progression géométrique approximativement. Les résultats extrêmes (tamisages de 8 et 30 mn) sont consignés dans les quatre diagrammes suivants. En ordonnée, le pourcentage des masses recueillies sur chaque tamis; en abscisse, l'échelle logarithmique des mailles.

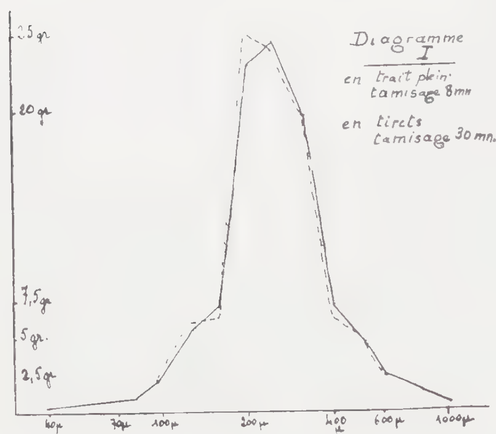
Diagramme I. — Sable prélevé sur une résurgence d'eau douce à Roscoff (1). Masse : 100 g. Il apparaît immédiatement, pour ces sables très quartzeux, que le résultat ne diffère pratiquement pas si la durée de tamisage est augmentée. Pour de tels échantillons, une durée supérieure à 8-10 mn semble donc bien inutile, si toutefois l'on part d'une masse de 100 g.

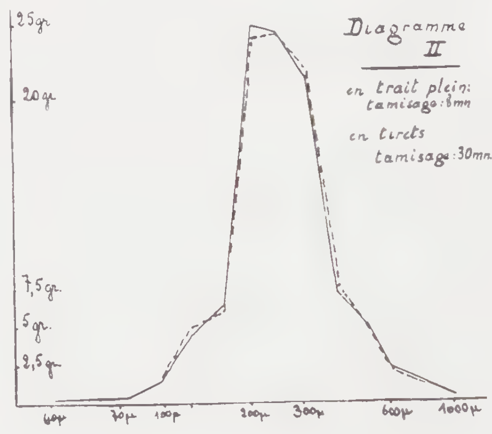
Diagramme II. — Sable prélevé au voisinage du précédent, mais la masse tamisée était de 200 g. Les conclusions rejoignent les précédentes. En outre, la superposition à peu près parfaite des courbes de ce diagramme avec celles du précédent — il s'agit de deux échantillons séparés par 2 m à peine — montre qu'il n'y a pas d'intérêt à utiliser des masses plus considérables pour avoir une idée exacte de la granulométrie en de tels cas.

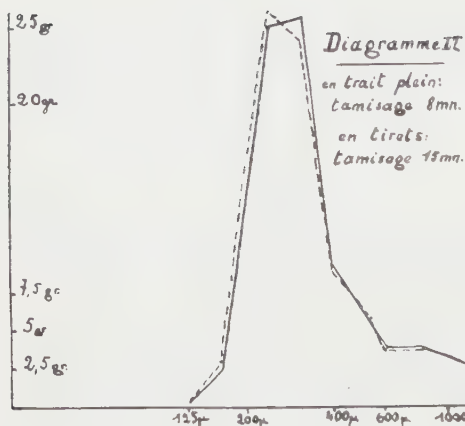
Diagramme III. — Sable de Tisaozon, quartzeux mais avec une proportion non négligeable d'éléments coquilliers, complètement dépourvu de parties inférieures à 100 μ.

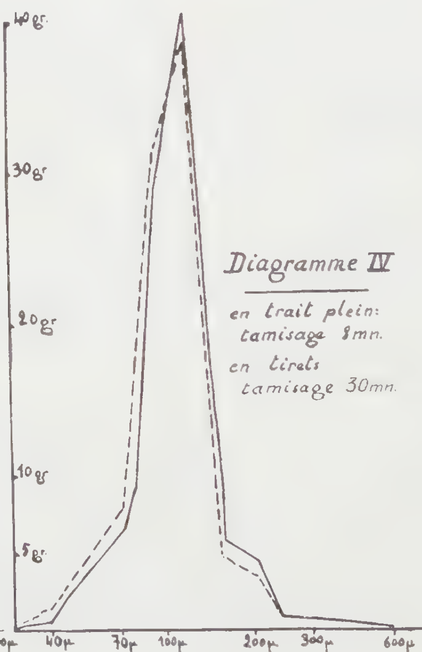
La durée prolongée du tamisage aboutit à une courbe granulométrique nettement, quoique faiblement, différente : dans l'ensemble, une translation vers les éléments plus fins. Ceci ne semble pas dû à une insuffisance de durée du premier tamisage, comme on pourrait le penser, mais au morcellement des éléments coquilliers lors de l'opération. Nous avions prélevé quatre fragments sur un tamis après le premier tamisage de 8 mn et nous les avions peints. Au second tamisage, nous avons retrouvé sept fragments peints, sur des tamis plus fins. Ici, encore, il ne semble pas indiqué d'augmenter la durée du tamisage, non plus du reste, que la masse : 100 g pendant 8-10 mn, nous semble le plus convenable en ce cas.

Diagramme IV. — Sables de Saint-Efflam, riches en éléments micacés et coquilliers, beaucoup plus fins et mieux triés que les précédents. 70 % de la masse se concentre sur deux tamis (n°s 21 et 22), 85 % sur quatre. Nous avons opéré sur 65 g seulement. A l'augmentation de durée du









tamisage correspond une légère translation de la courbe vers les éléments plus fins explicable, pensons-nous, par le bris des éléments friables comme nous l'avions mis en évidence pour l'exemplaire précédent. Pour de tels sables, il apparaît contre-indiqué d'utiliser des masses trop importantes : la concentration extrême sur quelques tamis obligerait à une durée plus longue de tamisage avec risques multipliés de morcellement.

En conclusion : les méthodes de tamisage mécanique nous donnent une représentation exacte de la répartition granulométrique des sédiments que nous avons étudiés.

Contrairement à G. Boillot [2] qui préconise une durée de tamisage de 25 à 30 mn, nous pensons qu'en général une durée de 8 à 10 mn avec une masse de 100 g donnera généralement une représentation plus exacte, ceci en accord avec L. Berthois [3]. Et même, dans le cas de sables riches en éléments organogènes calcaires très friables, on aura intérêt — surtout si le sable est bien trié — à partir d'une masse encore plus faible, pour ne pas dépasser les 10 mn et réduire ainsi à l'extrême les risques de morcellement.

(*) Séance du 24 octobre 1960.
(1) L. Amoureux, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1406.
(2) *Travaux pratiques de Pétrographie sédimentaire*, C. D. U., Paris, p. 8.
(3) *Ann. Soc. géol. Nord*, 71, p. 172-185.

(*Station Biologique, Roscoff et Faculté Libre des Sciences, Angers.*)

ALGOLOGIE. — *Quelques observations sur un* Mallomonopsis (*Chrysophycées*) *de Côte-d'Ivoire*. Note (*) de M. **Pierre Bourrelly**, présentée par M. Roger Heim.

Nous signalons la présence en Côte-d'Ivoire de *Mallomonopsis elliptica* Matv., espèce de Chrysophycée connue d'une seule station russe. L'examen, sur le vivant, montre la présence d'un granule photocepteur et d'un corps parabasal comme dans le genre *Synura*. Les *Mallomonopsis* sont donc des formes intermédiaires entre les *Synura* et les *Mallomonas*.

Le genre *Mallomonopsis* a été décrit, avec deux espèces, sur du matériel des environs de Charkow par A. M. Matvienko en 1941 ([1]). L'année suivante, J. W. G. Lund ([2]) découvrait une troisième espèce en Grande-Bretagne, mais n'ayant pas eu connaissance du travail de Matvienko il en faisait le type d'un genre nouveau *Ochromallomonas*. Depuis lors trois autres espèces ont été signalées en Tchécoslovaquie et en Russie.

Le genre *Mallomonopsis* groupe des Chrysophycées unicellulaires, solitaires, librement nageantes, à deux flagelles inégaux, à cellules présentant un revêtement de fines écailles siliceuses portant souvent de minces soies. On y observe de plus, deux plastes pariétaux jaune-brun, un noyau et un système de vacuoles contractiles.

Après avoir cherché vainement un représentant de ce genre dans les eaux douces de France, nous avons eu la bonne fortune de trouver le *Mallomonopsis elliptica* Matvienko dans une pêche planctonique effectuée en septembre 1959 dans l'étang de la réserve forestière du Banco, en Côte-d'Ivoire. Ce plancton était surtout constitué par une Cyanophycée : *Eucapsis alpina* et une Chrysophycée : *Dinobryon sertularia* var. *protuberans*.

Le *Mallomonopsis elliptica* a des cellules ellipsoïdales de 26-30 μ de longueur pour 15-20 μ de largeur, recouvertes d'écailles siliceuses elliptiques de 7 × 4 μ, à marge épaissie et à soie lisse, recourbée de 13 μ de longueur. Nous avons pu, par examen sur le matériel vivant, observer quelques détails cytologiques encore non signalés chez les *Mallomonopsis*. La cellule présente deux plastes jaunes, pariétaux; les réserves sont constituées par des gouttelettes grasses et par un gros globule basal de chrysose (ou leucosine). Le noyau est situé à l'avant de la cellule, placé entre les extrémités des plastes; il est pyriforme et de son sommet conique naît un flagelle épais mesurant 1 fois et demie à 2 fois la longueur du corps cellulaire. Ce flagelle, à l'arrêt, décrit une courbe sinueuse, mais pendant la nage il est dirigé vers l'avant et agité de vifs mouvements hélicoïdaux. Le second flagelle, plus mince et beaucoup plus court que le premier (les 2/3 seulement de la longueur de la cellule), porte très près de sa base un granule réfringent rappelant le photocepteur des Euglènes. Ce fouet, au repos, reste assez raide et oscille

sans onduler. Pendant la nage il est presque inactif, placé le long du corps et dirigé vers l'arrière.

Du même côté que le fouet court, on observe facilement un corps parabasal, en larme allongée, collé contre le noyau.

Les vésicules contractiles sont dispersées dans le cytoplasme, à la base de la cellule et au nombre de 3 ou 4; elles se déversent les unes dans les autres, mais sans qu'on puisse distinguer un appareil pusulaire comparable à celui que nous avions signalé avec M. Chadefaud ([3]) chez le *Mallomonas insignis*.

Nous voyons donc qu'appareil cinétique, parabasal, photocepteur ainsi

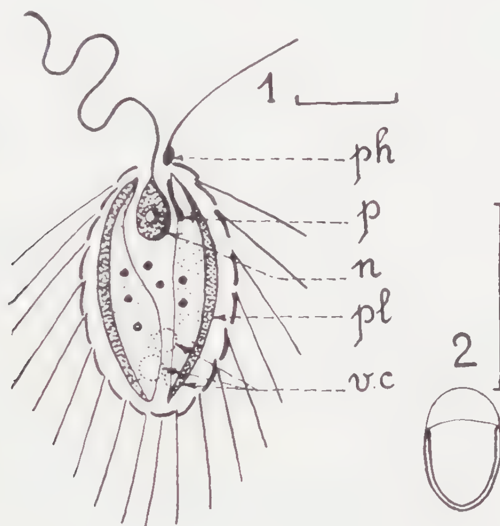


Fig. 1. — Cellule de *Mallomonopsis elliptica* Matv. :
n, noyau; *p*, parabasal; *ph*, grain photocepteur; *pl*, plaste; *v. c.*, vésicules contractiles.
Fig. 2. — Détail d'une écaille siliceuse.
(Les traits placés à côté des numéros des figures représentent 10 μ.)

que les vésicules contractiles, ont une organisation très proche de celle décrite par R. Hovasse ([4]) chez le *Synura uvella*. Par contre, la structure des écailles, la vie solitaire, sont des caractères communs avec les *Mallomonas*. Remarquons d'ailleurs que le *Mallomonopsis deltoidea* Morvan ([5]), par ses écailles sans soie, ses flagelles subégaux et ses colonies occasionnelles, fait transition entre les genres *Synura* et *Mallomonopsis*.

La présence d'un parabasal et d'un photocepteur permet de préciser la position phylogénétique du *Mallomonopsis*. On peut reconnaître facilement une ligne phylétique partant des *Synura* coloniaux à deux fouets subégaux à parabasal bien visible et à vésicules contractiles simples, passant par les *Mallomonopsis* à flagelles inégaux et aboutissant aux *Mallomonas* à parabasal non visible, à flagelle court réduit au pédoncule du photocepteur [Bourrelly ([6])] et appareil pusulaire complexe. Nous retrouvons là une série

complète qui donne un bon exemple de passage des Ochromonadales à deux flagelles hétérodynames aux Chromulinales à fouet unique.

É. Fauré-Frémiet et Ch. Rouiller (7), (8) ont exposé un cas analogue avec le *Chromulina psammobia*, espèce marine où le microscope électronique permet de déceler, à côté du flagelle fonctionnel, un cryptoflagelle très réduit, organite résiduel qui indique bien les relations phylogénétiques étroites reliant Chromulinales et Ochromonadales.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) A. M. MATVIENKO, *Trudi Inst. Bot. Charkow*, 4, 1941, p. 47.
(2) J. W. G. LUND, *New Phytol.*, 41, nº 4, 1942, p. 286-287.
(3) P. BOURRELLY et M. CHADEFAUD, *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 434.
(4) R. HOVASSE, *Le Botaniste*, 34, 1949, p. 263-268.
(5) P. MARVAN, *Publ. Fac. Sc. Univ. Masaryk, Brno*, 385, 1957, p. 294-295.
(6) P. BOURRELLY, *Rev. Algol.*, Mém. hors série, 1, 1957.
(7) É. FAURÉ-FRÉMIET et CH. ROUILLER, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 2655.
(8) CH. ROUILLER et É. FAURÉ-FRÉMIET, *Exper. Cell. Res.*, 14, 1958, p. 47-67.

MYCOLOGIE. — *Sporogenèse et mutations chez* le Gliocladium nigrum *F. Moreau*. Note (*) de MM. **René Morquer** et **Guy Viala**, présentée par M. Lucien Plantefol.

La sporogenèse du *Gliocladium nigrum*, active sur l'amidon et l'acide aspartique dans le rapport C/N = 63 à 24°, est encore stimulée par le glucose et la terre humeuse. L'action toxique des antibiotiques détermine une lipophanérose qui déprime la conidiogenèse sans l'annihiler. Une mutation sectorielle spontanée provoque la perte irréversible de la faculté de sporuler. Les radiations ultraviolettes déterminent la raréfaction de la conidiogenèse chez les hyphes blanches et l'apparition d'une mutation asporogène s'opposant aux modifications passagères causées par les antibiotiques.

La sporogenèse chez les Champignons dépend à la fois des facteurs externes et internes. La température, la teneur en eau, en oxygène et en gaz carbonique, la concentration en ions H du substratum jouent un rôle prépondérant dans la multiplication asexuelle. La conidiogenèse est comprise entre des limites extrêmes, souvent plus rapprochées que celles de la croissance mycélienne.

Toutefois, au sein d'une même espèce, on observe parfois des différences dans l'action des facteurs externes sur diverses catégories de spores, suivant les fonctions qu'elles assurent : multiplication végétative, reproduction sexuelle, conservation.

La constitution chimique du milieu nutritif exerce aussi une action capitale sur la sporogenèse : Klebs a reconnu l'influence de la concentration de l'aliment ([1]), Leonian, celle de la dilution du milieu ([2]). Hawker a précisé l'influence de faibles proportions de glucose sur l'apparition des périthèces fertiles de *Melanospora destruens* ([3]). D'autres physiologistes ont montré l'importance du rapport entre la source de carbone et celle de l'azote sur la conidiogenèse et sur la morphogénie de spores de divers types : W. Brown ([4]), à propos des *Fusarium*; R. Morquer, au sujet du déterminisme de la sporogenèse chez *Dactylium macrosporum* ([5]); Mix, en ce qui concerne la formation des pycnides et des spores de *Phyllosticta solitaria* ([6]), sans que les travaux de ces chercheurs aient retenu suffisamment l'attention des mycologues.

La phosphorylation, l'incorporation du soufre dans les protéines, l'absorption nécessaire du potassium, du magnésium, l'intervention des oligodynamiques : fer ([7]), manganèse ([8]), zinc ([9]) au cours de la vie de la plante, expliquent l'importance de ces éléments au cours de la sporulation.

L'effet des différents facteurs varie tellement d'une espèce de Champignon à l'autre, qu'il était intéressant de rechercher leur influence sur la conidiogenèse d'un Champignon peu connu, *Gliocladium nigrum* F. Moreau. Il offre un contraste frappant entre ses conidies fortement pigmentées et

son mycélium blanc. Il sporule activement sur un milieu contenant de l'amidon et de l'acide aspartique et se montre très sensible à l'action du glucose, de l'azote minéral et organique, de la terre humeuse, qui stimulent la conidiogenèse [10]. Enfin cette Mucédinée produit aisément un mycélium stérile sous des influences diverses (addition d'antibiotiques, radiations), ce qui nous conduit à poser la question des actions toxiques réversibles ou des mutations possibles.

Action des antibiotiques. — La pénicilline, l'érythromycine (à dose de 0,1 à 0,75 μg/ml) ont déterminé la formation d'inclusions lipidiques dans le mycélium et la cessation de la conidiogenèse pendant 11 mois. Mais au bout de 15 mois, cet organisme a récupéré la faculté de sporuler sans coalescence entre les capitules et seulement à la périphérie des cultures. L'action toxique des antibiotiques a donc déterminé une dépression de la conidiogenèse sans l'annihiler. Il n'existe donc pas de mutation dans ce cas.

Formation de mutants spontanés. — Sur un milieu de base organominéral contenant de l'amidon et de l'acide aspartique dans un rapport C/N = 63 à 24° (optimal), la végétation se montrait exubérante, les conidiophores nombreux. Un faible nombre de cultures a présenté la formation, en deux secteurs, d'un mycélium ras, jaunâtre et asporogène.

Aucune addition de glucose, de terre humeuse, n'a pu restituer à cette souche stérile la fertilité initiale. Il s'agit donc d'un processus *irréversible*, sans rapport avec le « pléomorphisme » observé par Sabouraud, Langeron, et dont Vanbreuseghem [11] a pu observer la régression chez les Dermatophytes. D'ailleurs, l'allure de la croissance et la densité de la croissance mycélienne du *Gliocladium nigrum* s'opposent à la prolifération désordonnée des souches pléomorphiques. Nous reconnaissons donc ici une *mutation*.

Action des radiations ultraviolettes. — La source utilisée était une lampe à vapeur de mercure en quartz, sur le courant alternatif de 110 V, située à 35 cm de la culture en voie de croissance.

Nous exposions les cultures : *a.* soit *directement*; *b.* soit à travers le verre « pyrex » qui absorbe 1/10e à 2/10e des radiations comprises entre 2 800 et 3 000 Å et 3/10e à 8/10e entre 3 000 et 3 200 Å, enfin 9/10e entre 3 250 et 4 000 Å; *c.* soit enfin à travers le quartz qui laisse passer l'ultraviolet jusqu'à 1 850 Å.

Nous comparions la sporogenèse de ces cultures irradiées avec celles d'un témoin non irradié sporulant au bout de 17 jours sur le milieu de base. Les durées d'irradiation variaient au cours des premières séries d'expériences entre 15 et 30 mn. Les capitules conidiens exposés pendant 20 mn étaient affectés d'une diminution du 1/4 des conidies et d'un groupement des capitules en plages discontinues.

Après 30 mn, ils étaient localisés plus étroitement encore. La conidiogenèse décroît moins rapidement quand les radiations sont absorbées partiellement par le « pyrex »; le déclin de la sporogenèse ne s'observe

qu'après une exposition de 30 mn. Il est mieux marqué après 1 h 12 mn d'irradiation au 6e jour. Enfin deux séances de 60 mn au même stade et de 50 mn au 10e jour provoquent une pigmentation orangée du mycélium, puis l'inhibition de la conidiogenèse ainsi que le nanisme des capitules. L'exposition à travers le quartz produisait des effets biologiques intermédiaires entre les précédents. Deux séances successives de 30 mn aux 5e et 8e jours stérilisaient les cultures initiales.

Cette stérilité se maintenait-elle au cours des repiquages successifs ? Au cours des ensemencements et de nombreux repiquages, une diminution considérable de la sporogenèse se manifestait encore à partir du mycélium et des spores irradiées primitivement pendant 1 h 30 mn à 4 h 30 mn à travers le quartz. Les capitules raréfiés étaient strictement localisés au centre de la colonie.

En résumé, l'irradiation directe du mycélium de *G. nigrum* provoque deux phénomènes :

1° la raréfaction de la conidiogenèse chez les hyphes blanches aériennes;

2° la production d'un mycélium gluant dont la dégénérescence lipidique est concomittante d'une stérilisation complète de l'appareil conidien. Ce processus se montrant irréversible, nous admettrons que l'irradiation a bien déterminé l'apparition d'une mutation asporogène qui s'oppose aux modifications passagères provoquées par les antibiotiques.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) G. Klebs, *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 35, n° 1, 1900.
(2) L. H. Leonian, *Amer. J. Bot.*, 11, 1924, p. 19-50.
(3) L. E. Hawker, *Ann. Bot. Lond.*, N. S., 3, 1939, p. 455-468.
(4) W. Brown et A. S. Horne, *Ann. Bot.*, 40, 1926, p. 203-221.
(5) R. Morquer, *Thèse Sc. Nat.*, Paris, 1931, 391 pages.
(6) A. J. Mix, *Phytopath.*, 23, 1933, p. 503-524.
(7) G. J. Raulin, *Études chimiques sur la végétation* (*Thèse Sc. Phys.*, Paris, 1870, 203 pages).
(8) G. Bertrand et M. Javillier, *Ann. Inst. Past.*, 26, 1912, p. 241 et 515.
(9) M. Javillier, *Comptes rendus*, 155, 1912, p. 190.
(10) G. Viala, *Dipl. Ét. Sup.*, Toulouse, 1959.
(11) R. Vanbreuseghem et M. Van Brussel, *Ann. Soc. Belg. Med. Trop.*, 32, 1952, p. 79-84.

(*Laboratoire de Cryptogamie, Faculté des Sciences, Toulouse.*)

CYTOLOGIE VÉGÉTALE. — *Variations de la répartition des ribonucléoprotéines dans les apex d'un Blé d'hiver* (Triticum vulgare *Vill.*) *semé, soit au printemps, soit en automne.* Note (*) de M[lle] **Nicole Poux**, présentée par M. Lucien Plantefol.

Après une phase où la répartition des ribonucléoprotéines est caractéristique de l'état végétatif, et bien qu'ils puissent continuer à produire des feuilles, les apex d'une variété d'hiver de *Triticum vulgare*, montrent un enrichissement progressif des cellules apicales en ribonucléoprotéines en rapport avec une évolution vers l'état reproducteur.

Les variétés de Blé d'hiver soumises au froid hivernal épient après avoir formé un nombre de feuilles beaucoup moins élevé que lorsqu'elles sont semées au printemps. Comme nos prédécesseurs, nous avons obtenu 12 feuilles pour les semis d'automne (mi-novembre) et une vingtaine pour les semis de printemps (mi-avril).

Au moins jusqu'à l'initiation de la 7e feuille, la répartition des ribonucléoprotéines (RNP) dans l'apex est identique à celle observée sur une variété de printemps (1), quelle que soit la date du semis : l'apex en forme de dôme court (*fig.* 1) présente un anneau initial (*AI*) riche en RNP, particulièrement dans l'initium foliaire en formation (*if* 6), contrastant avec une zone apicale restreinte à quelques cellules (*MA*) mais nette, relativement pauvre en RNP.

Chez les Blés d'hiver semés au printemps, alors que l'apex subit une série de modifications de forme et de mode de fonctionnement (2), la zonation des apex végétatifs tend à s'effacer par enrichissement des cellules apicales en RNP. Après l'apparition des 12e et 13e initiums foliaires (*fig.* 2), l'assise tunicale présente généralement une colorabilité à peu près uniforme au sommet de l'apex. Puis, tandis que l'apex s'allonge en produisant

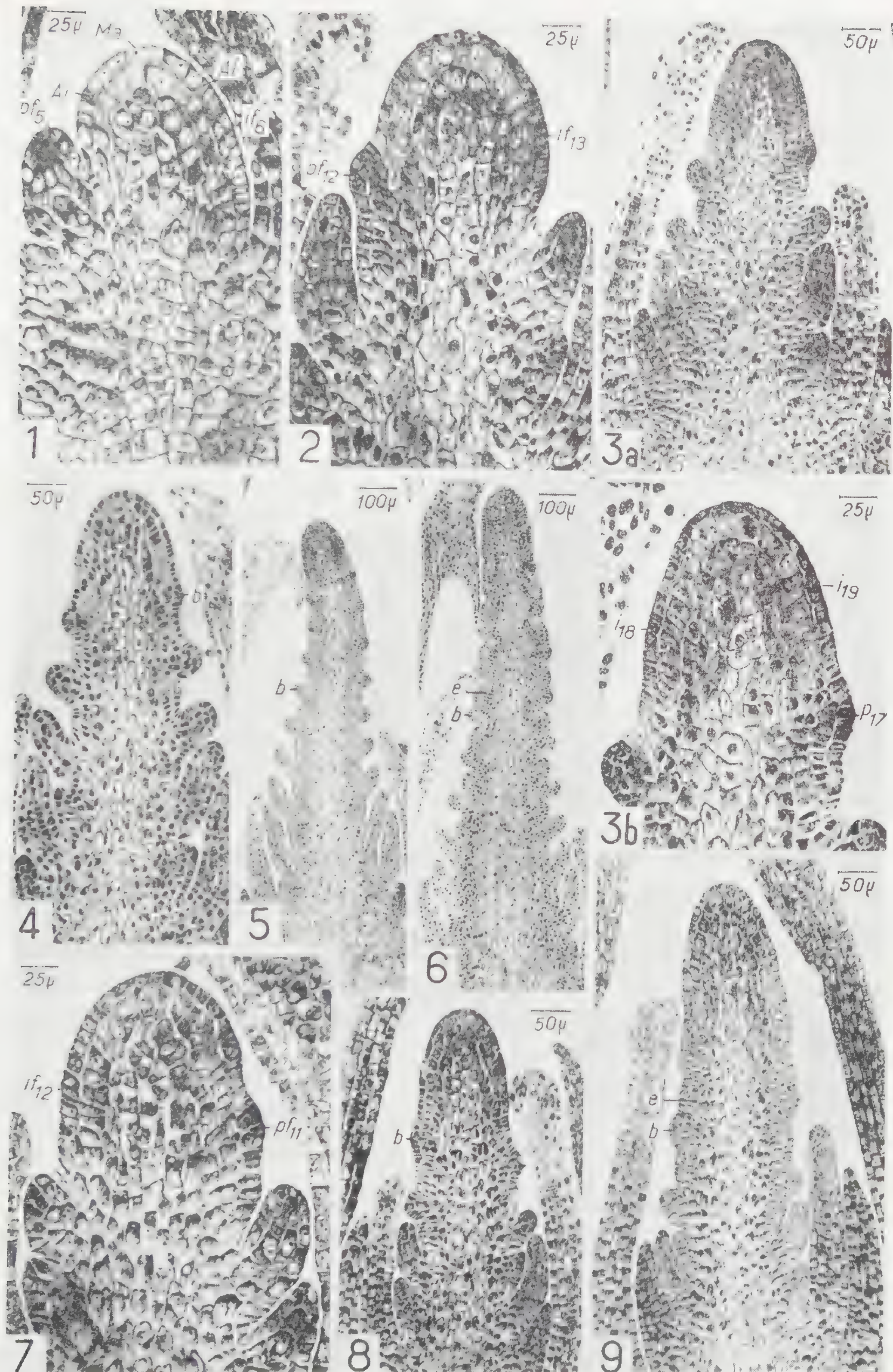
LÉGENDES DES FIGURES.

Matériel : Blé Vilmorin 27. Tests de Brachet.

AI, zone de restauration de l'anneau initial; *MA*, zone apicale ou méristème d'attente; *pf* 5, primordium de la 5e feuille; *if* 6, initium de la 6e feuille; *pf* 11, primordium de la 11e feuille; *if* 12, initium de la 12e feuille; *pf* 12, primordium de la 12e feuille; *if* 13, initium de la 13e feuille; *p* 17, primordium de la 17e feuille; *i* 18, 18e initium foliaire; *i* 19, 19e initium foliaire; *b*, bractée abortive; *e*, épillet.

Fig. 1 à 6. — Semis de printemps. Fig. 1, stade végétatif typique. Fig. 2, 3 *a* et 3 *b*, stades intermédiaires : formation des dernières feuilles sur un apex à tendance inflorescentielle. Fig. 3 *b*, détail de la figure 3 *a*. Fig. 4 et 5, stades intermédiaires : initiation des premières bractées abortives sur des apex ayant respectivement produit environ 24 et 36 initiums de type foliaire ou bractéal. Fig. 6, stade inflorescentiel typique : développement des épillets proprement dits à l'aisselle des bractées.

Fig. 7 à 9. — Semis d'automne. Fig. 7, stade intermédiaire : initiation de la dernière feuille (*if* 12) sur un apex qui n'est plus tout à fait végétatif. Fig. 8, stade intermédiaire : initiation des premières bractées abortives sur un apex ayant produit 19 initiums de type foliaire ou bractéal. Fig. 9, stade inflorescentiel typique : début du développement des initiums d'épillets.



1
25μ
pf5
if6
2
25μ
if13
pf12
3a
50μ
4
50μ
b
5
100μ
b
6
100μ
e
b
3b
25μ
i19
i18
P17
7
25μ
if12
pf11
8
50μ
b
9
50μ
e
b

rapidement de nouveaux initiums foliaires (*fig.* 3 *a*), les grandes cellules subapicales conservent une colorabilité assez faible par rapport aux cellules de la *tunica* et du massif sous-jacent (*fig.* 3 *b*). De plus, à ce stade (*fig.* 3 *b*), la pauvreté en RNP des cellules situées immédiatement au-dessus du dernier initium (*i* 18), contrastant avec une teneur plus élevée dans les cellules apicales de la *tunica*, suggère que la restauration de l'apex ne se fait plus à l'aisselle de l'initium, mais à partir des cellules apicales; de même, sur le flanc opposé, quelques cellules pauvres en RNP séparent le dernier primordium (*p* 17) du lieu où va apparaître le prochain initium (*i* 19) marqué par un enrichissement local en RNP très accusé. Ce fait, déjà visible au stade de la figure 2, ne se trouve pas dans l'apex végétatif (*fig.* 1) : les cellules situées à l'aisselle du dernier primordium (*pf* 5) et au-dessus du dernier initium (*if* 6) ont un cytoplasme encore très coloré, et l'intensité de la coloration dans la *tunica* décroît toujours de la base vers le sommet du dôme apical. Lorsque l'apex a produit une vingtaine d'initiums de feuilles (début juin), le taux général de RNP subit une baisse passagère (*fig.* 4), tandis que l'initiation foliaire se poursuit un certain temps sans changement, donnant naissance aux bractées abortives qui axilleront les premiers épillets (*fig.* 4 et 5, *b*). Lorsque ceux-ci commencent à se développer (fin juillet) (*fig.* 6, *e*), l'extrémité de l'apex est le lieu de teneur maximal en RNP.

Bien que produisant un nombre moindre de feuilles, les semis d'automne présentent assez longtemps une évolution apicale analogue; l'intensité de la coloration tunicale s'uniformise lorsqu'apparaît l'initium de la dernière feuille (*fig.* 7, *if* 12). Bien que les cellules subapicales restent un certain temps plus pâles, l'extrémité de l'apex continue à s'enrichir en RNP, tandis que l'apex s'allonge en initiant les premières bractées abortives des épillets (*fig.* 8). Lorsque ces derniers commencent à se développer (fin avril), les RNP sont nettement plus abondantes au sommet de l'apex (*fig.* 9).

Chez les Blés d'hiver, après un stade végétatif typique, et bien que l'apex puisse continuer quelque temps à produire des feuilles, la répartition des RNP se modifie en même temps que la forme (allongée comme celle de l'apex reproducteur) et le fonctionnement (régénération axillaire remplacée par une régénération apicale). Les « feuilles » transitoires sont donc engendrées de même manière que les bractées qui naîtront plus tard en liaison avec les épillets.

(*) Séance du 24 octobre 1960.
(1) N. Poux, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 585.
(2) N. Poux, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 2522.

(*Laboratoire de Botanique de l'École Normale Supérieure.*)

EMBRYOLOGIE VÉGÉTALE. — *Embryogénie des Mélastomacées. Développement de l'embryon chez le* Bertolonia maculata *DC*. Note (*) de M. **Pierre Crété**, présentée par M. René Souèges.

Le *Bertolonia maculata* DC., comme les *Oxyspora*, les *Calvoa*, les *Sonerila*, les *Leandra* et les *Clidemia*, genres à graines droites, entre dans la famille embryogénique du *Myosurus*. Un intérêt tout particulier s'attacherait à la forme droite ou courbe de la graine dans la sous-famille des Mélastomatoïdées.

Les Mélastomatoïdées sont l'une des trois sous-familles que F. Krasser ([1]) définit chez les Mélastomatacées, appelées plus exactement Mélastomacées. Elles se répartissent en tribus dont certaines se caractérisent par des graines droites, d'autres par des graines courbes ou spirales. Chez les *Monochætum* ([2]), les *Osbeckia* ([3]) et les *Melastoma* ([4]), qui ont des graines courbes, le suspenseur est formé rapidement d'un assez grand nombre de cellules, volumineuses, disposées en file, et, peut-être, dans ce cas, les formes embryonnaires se rattachent-elles à la seconde période de la classification embryogénique ([5]). Chez les *Leandra* ([3]), les *Sonerila* et les *Oxyspora* ([6]), les *Clidemia* et les *Calvoa* ([7]) où les graines sont droites, le suspenseur demeure court, et est habituellement massif. C'est à la première période de la classification que se rattachent toutes les formes embryonnaires étudiées jusqu'ici. Nous avons pu nous procurer des échantillons d'une espèce, le *Bertolonia maculata* DC. qui appartient à une tribu à graines droites, celle des Berloloniées, dont aucun représentant n'avait été encore examiné.

Chez le *Bertolonia maculata*, les formes embryonnaires se rattachent à l'archétype du *Myosurus minimus* ([8]). Les tétrades sont de la catégorie A_2 (*fig.* 2 et 3). Au stade des quadrants, qui sont disposés sur un même plan horizontal, la cellule intermédiaire, *m*, est cloisonnée obliquement, la cellule inférieure, *ci*, divisée transversalement (*fig.* 4 et 7) ou obliquement (*fig.* 5, 6 et 8). Alors que des proembryons octocellulaires normaux peuvent correspondre aux quadrants (*fig.* 7), nous n'avons pas observé de formes hexadécacellulaires vraies. La figure 11, où aux octants superposés deux à deux correspondent huit blastomères provenant de *cb*, l'étage *m*, n'est pas encore quadricellulaire, tandis que cinq éléments sont déjà présents en *ci*. Les divisions, au niveau des octants, sont très régulières. Elles assurent, tout d'abord l'identification du dermatogène (*fig.* 11 et 13), puis des cloisons verticales isolent très rapidement, dans la partie hypocotylée, les premiers éléments du périblème et du plérome (*fig.* 14 et 15). Ces cellules se divisent toutes transversalement, puis leurs cellules-filles longitudinalement (*fig.* 16 à 19).

Quand, dans l'étage *m*, se trouvent groupés quatre éléments, l'un d'eux, grâce à la position oblique de la première paroi et de l'une des suivantes, se situe à la base de la partie hypocotylée : c'est la cellule mère des initiales de l'écorce au sommet radiculaire (*fig.* 5 à 14), elle se divise rapidement en deux éléments superposés. L'un de ces éléments se place dans le prolongement de la région interne et l'autre dans le prolongement de la région externe du périblème (*fig.* 16). En définitive, l'embryon possède deux étages superposés d'initiales (*fig.* 20). Les autres cellules de *m* contribuent à la formation de la coiffe dans sa portion centrale. Le suspenseur, court et massif, provient des divisions de la cellule *ci*.

Ainsi se trouve confirmée l'homogénéité du développement de l'embryon chez les Mélastomatoïdées à graines droites. Les différences entre genres sont surtout marquées par des variations dans la rapidité et le mode d'identification des initiales de l'écorce au sommet radiculaire. Si l'idée que nous pouvons nous faire aujourd'hui de l'embryogénie de la sous-famille est confirmée par les recherches ultérieures, il apparaîtra que les systématiciens n'ont pas accordé jusqu'ici un intérêt suffisamment grand à la forme des graines ou des embryons dans certaines familles. En effet, on retrouve, chez les Solanacées, des différences remarquables dans l'embryogénie des espèces, selon que leurs embryons sont courbes ou droits. Les embryons des espèces à graines curvembryées présentent

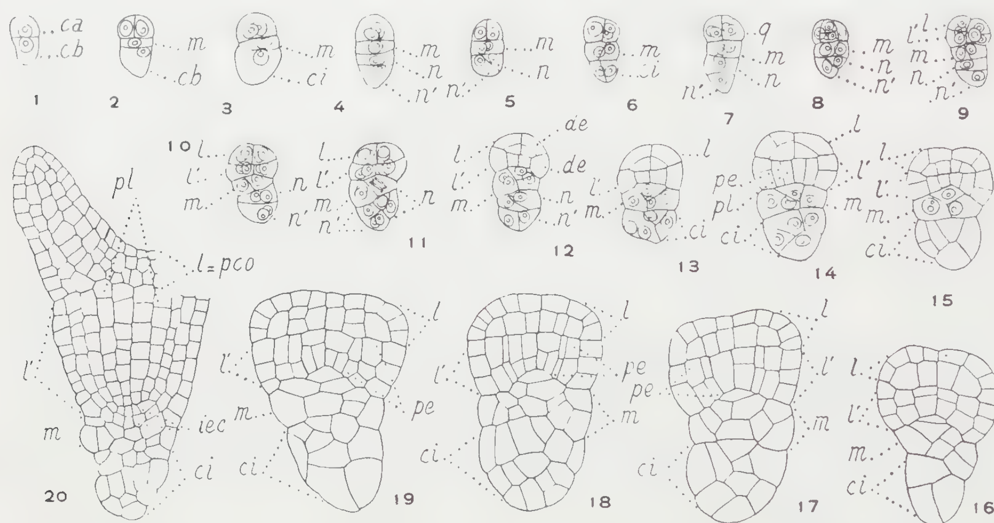


Fig. 1 à 20. — *Bertolonia maculata* DC. — Les principaux stades du développement de l'embryon. *ca* et *cb*, cellules, apicale et basale, du proembryon bicellulaire; *m* et *ci*, cellules-filles de *cb*; *q*, quadrants; *l*, octants supérieurs ou partie cotylée *s. lato*, *pco*; *l'*, octants inférieurs ou partie hypocotylée; *n* et *n'*, cellules-filles de *ci*; *de*, dermatogène; *pe*, périblème; *pl*, plérome; *iec*, initiales de l'écorce ou sommet radiculaire (G × 330; 250 pour 20).

souvent des formes irrégulières et peuvent être très filamenteux. Dans les tribus à graines rectembryées, les embryons présentent, au contraire, un développement régulier avec formes proembryonnaires courtes.

A propos du *Bertolonia maculata*, il est intéressant de revenir sur la valeur d'un type embryonomique qui a été particulièrement proposé par D. A. Johansen [8] pour une Mélastomacée, le *Sonerila Wallichii*; l'espèce est caractérisée par la formation, à partir de *ci*, d'un étage de huit cellules, situées sur un même plan et que séparent des parois verticales. L'étude du *Bertolonia* montre que la première cloison en *ci* peut être très faiblement oblique et, en 13, trois cellules sur quatre sont encore, dans cet étage, situées sur un plan horizontal. Dans la même espèce, *ci* peut prendre,

par contre, dès le début, une paroi horizontale. Il est peu souhaitable de distinguer des types embryonomiques en les basant sur des caractères fluctuants se rapportant surtout à des éléments qui n'interviennent en rien dans l'édification des parties fondamentales de l'embryon.

(*) Séance du 24 octobre 1960.
(1) *in* ENGLER et PRANTL, *Die natürlichen Pflanzenfamilien*, Leipzig, 3, n° 7, 1898, p. 130.
(2) A. ZIEGLER, *Bot. Archiv.*, 9, 1925, p. 398.
(3) K. SUBRAMANYAM, *J. ind. Bot. Soc.*, 21, 1942, p. 69.
(4) K. SUBRAMANYAM, *J. ind. Bot. Soc.*, 27, 1948, p. 11.
(5) R. SOUÈGES et P. CRÉTÉ, *Année biologique*, 28, 1952, p. 9.
(6) K. SUBRAMANYAM, *Proc. ind. Acad. Sc.*, 19 B, 1944, p. 115.
(7) K. SUBRAMANYAM, *Phytomorphology*, 1, 1951, p. 205.
(8) P. CRÉTÉ, *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 374 et 250, 1960, p. 3710.
(9) R. SOUÈGES, *Embryogénie et Classification. Essai d'un système embryogénique.* Partie spéciale : *Première période du système*, Hermann, Paris, 1948.
(10) *Plant Embryology*, Waltham, Mass., U. S. A., 1950.

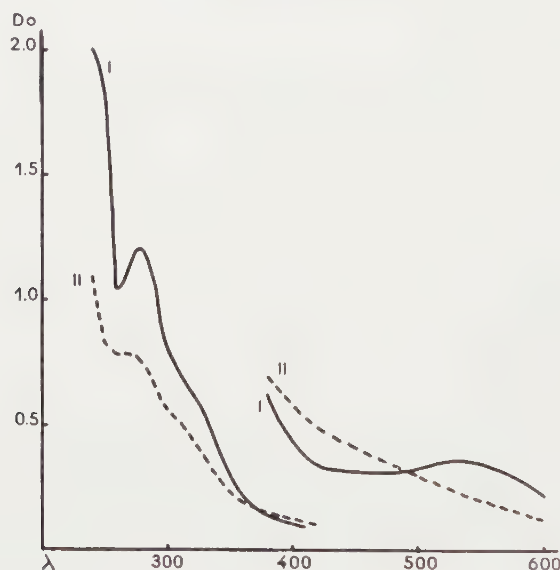
(*Laboratoire de Botanique générale, Faculté de Pharmacie, Paris.*)

ŒNOLOGIE. — *Application spectrophotométrique à l'étude de la casse oxydasique des vins*. Note (*) de MM. **Claude Flanzy** et **Charles Poux**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

La casse oxydasique des vins est caractérisée par une transformation rapide des matières colorantes du vin mis au contact de l'air. Pour un vin rouge limpide au départ, on voit d'abord celui-ci se troubler, puis prendre dans les 24 h une couleur bouillon de châtaigne caractéristique, d'où le nom de « casse brune » donné aussi à cette maladie.

Nous avons été amenés à préciser l'évaluation de l'état de l'évolution de la casse par une grandeur physique.

Nous avons mesuré au spectrophotomètre (Jobin-Yvon) les absorptions aux différentes longueurs d'ondes et construit les courbes d'absorption.



Les résultats sont présentés sur la figure 1. La courbe I représente la courbe d'absorption d'un vin cassant au temps 0, et la courbe II, celle du vin cassé après 24 h de contact à l'air.

L'épaisseur des cuves étant de 1 cm, le vin était dilué dans l'alcool à 50 %. La partie de la courbe située dans l'ultraviolet entre 2 400 et 4 200 Å a été construite à partir du vin dilué au 1/25e dans l'alcool à 50°; la partie de la courbe située dans le visible entre 3 800 et 6 000 Å à partir du vin dilué au 1/5e.

Le vin cassé après 24 h, fortement trouble, a été centrifugé pour éliminer le dépôt et la mesure a été effectuée sur la partie limpide à la même dilution.

Les vins rouges normaux présentent un maximum d'absorption dans le visible vers 5 300 Å. L'absorption diminue ensuite jusqu'à un palier allant de 4 900 à 4 300 Å puis croît à nouveau à partir de 4 200 Å. Dans l'ultraviolet

ils présentent une courbe avec un maximum vers 2 800 Å et un minimum vers 2 600 Å.

Les vins « cassés » n'ont plus de palier et présentent une courbe d'absorption constamment décroissante. En particulier, on constate que dans l'intervalle 4 900-4 300 Å, l'absorption croît avec la progression de la maladie et qu'inversement cette absorption diminue régulièrement entre 5 200-5 600 Å. Dans l'ultraviolet la différence de densité optique caractéristique entre le maximum à 2 800 Å et le minimum à 2 600 Å s'atténue graduellement avec l'évolution de la maladie pour n'être, après 24 h, qu'un épaulement vers 2 750 Å.

Le vin « cassé » a tendance à absorber de plus en plus dans le bleu et le violet, ce qui correspond au passage de la coloration du vin du rouge au jaune brun.

Les courbes d'absorption du vin sont donc utilisables dans la caractérisation de la « casse oxydasique » et permettent de suivre quantitativement l'évolution de la maladie et d'apprécier les mélanges de vin normal et de vin « cassé ».

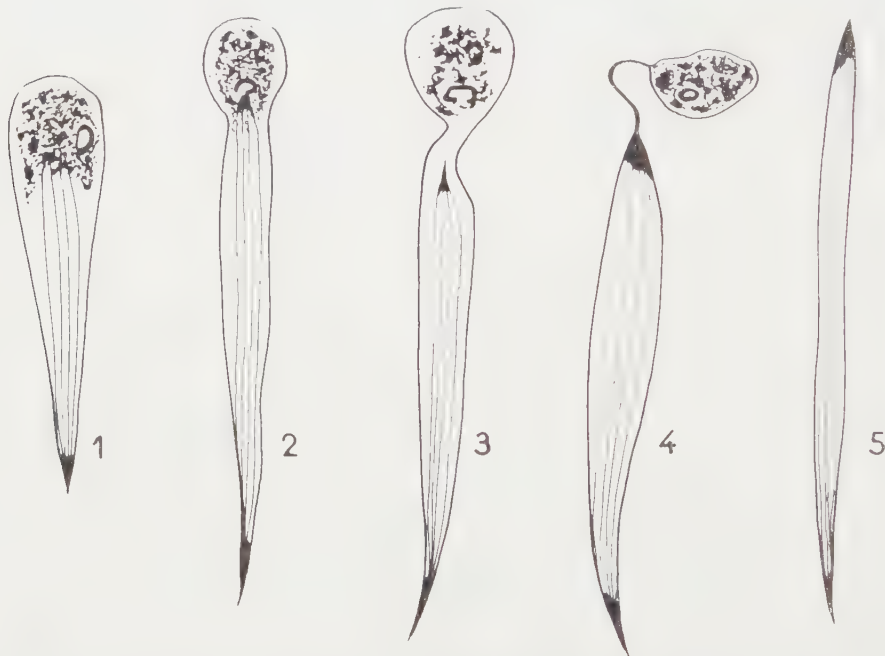
(*) Séance du 24 octobre 1960.

(*Station Centrale d'Œnologie, INRA, Narbonne.*)

CYTOLOGIE. — *Sur un processus d'élimination cytoplasmique, au cours de la spermiogenèse, dans la lignée atypique de* Calyptræa sinensis *Lin.* (*Mollusque Prosobranche*). Note (*) de M. **Wilfried Streiff**, transmise par M. Albert Vandel.

L'étude systématique de la spermatogenèse de *Calyptræa sinensis* m'a permis de mettre en évidence un processus jusqu'ici ignoré d'élimination cytoplasmique partielle au cours de la spermiogenèse dans la lignée atypique des Mollusques.

Dans le némasperme, un renflement antérieur se forme au moment où débute la dissociation des racines flagellaires (*fig.* 1). La spermie prend



Spermiogenèse atypique de *Calyptræa sinensis* Lin.
Suite de cinq figures montrant l'élimination cytoplasmique.

alors une forme en massue. La mise en évidence du corps de Golgi montre, à ce stade, la présence d'un dictyosome hypertrophié dans la région antérieure. De même, l'emploi des techniques mitochondriales permet d'observer la concentration du chondriome au niveau du renflement cytoplasmique. Dans une phase ultérieure, le dictyosome ayant contribué à la formation de l'acrosome remonte au-dessus de ce dernier au lieu de basculer latéralement comme dans le cas général. L'acrosome étant formé, une constriction cytoplasmique apparaît à son niveau (*fig.* 2). L'étranglement se resserre (*fig.* 3), refoulant chondriosomes et résidu de Golgi dans la goutte

cytoplasmique qui n'est bientôt plus reliée au spermatozoïde que par un pédoncule ténu (*fig.* 4). Ce dernier ne tarde pas à se rompre, éliminant la larme cytoplasmique et libérant le spermatozoïde atypique. Plus effilé que le type normal n'ayant pas subi ce phénomène d'élimination partielle du cytoplasme, le spermatozoïde atypique est dépourvu de tout chondriome et de tout résidu golgien (*fig.* 5). Malgré cette structure particulière, le spermatozoïde atypique présente la même motilité que le type normal.

Le phénomène d'élimination cytoplasmique, quoique partiel et s'effectuant par étranglement, paraît bien avoir la même signification que celui de la spermiogenèse typique. De ce fait, l'analogie existant entre les deux lignées spermatogénétiques chez les Mollusques semble singulièrement renforcée.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(*Laboratoire de Biologie générale, Faculté des Sciences, Toulouse.*)

HISTOPHYSIOLOGIE. — *Neurosécrétion chez la Tortue d'eau* Emys leprosa *Schw. Après destruction de la région épiphysaire.* Note (*) de MM. **Émile Aron**, **Charles Combescot**, **Jacques Demaret** et Mlle **Louise Guyon**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Dans une Note antérieure, nous avons signalé la protrusion des globes oculaires survenant après destruction de la région épiphysaire chez la Tortue d'eau *Emys leprosa* Schw. [1]. Cette agression entraîne d'une façon concomittante, le repos testiculaire et la stimulation de la glande thyroïde [2].

Les relations hormonales existant entre certaines cellules basophiles de l'hypophyse et le fonctionnement de la thyroïde sont maintenant bien établies. Halmi, en 1950, a pu distinguer les cellules basophiles hypophysaires qui produisent l'hormone thyréotrope (basophiles β) de celles qui sécrètent l'hormone gonadotrope (basophiles δ), et établir les caractères cytologiques des unes et des autres (forme; colorabilité; situation dans les cordons; granulations; mitochondries; appareil de Golgi).

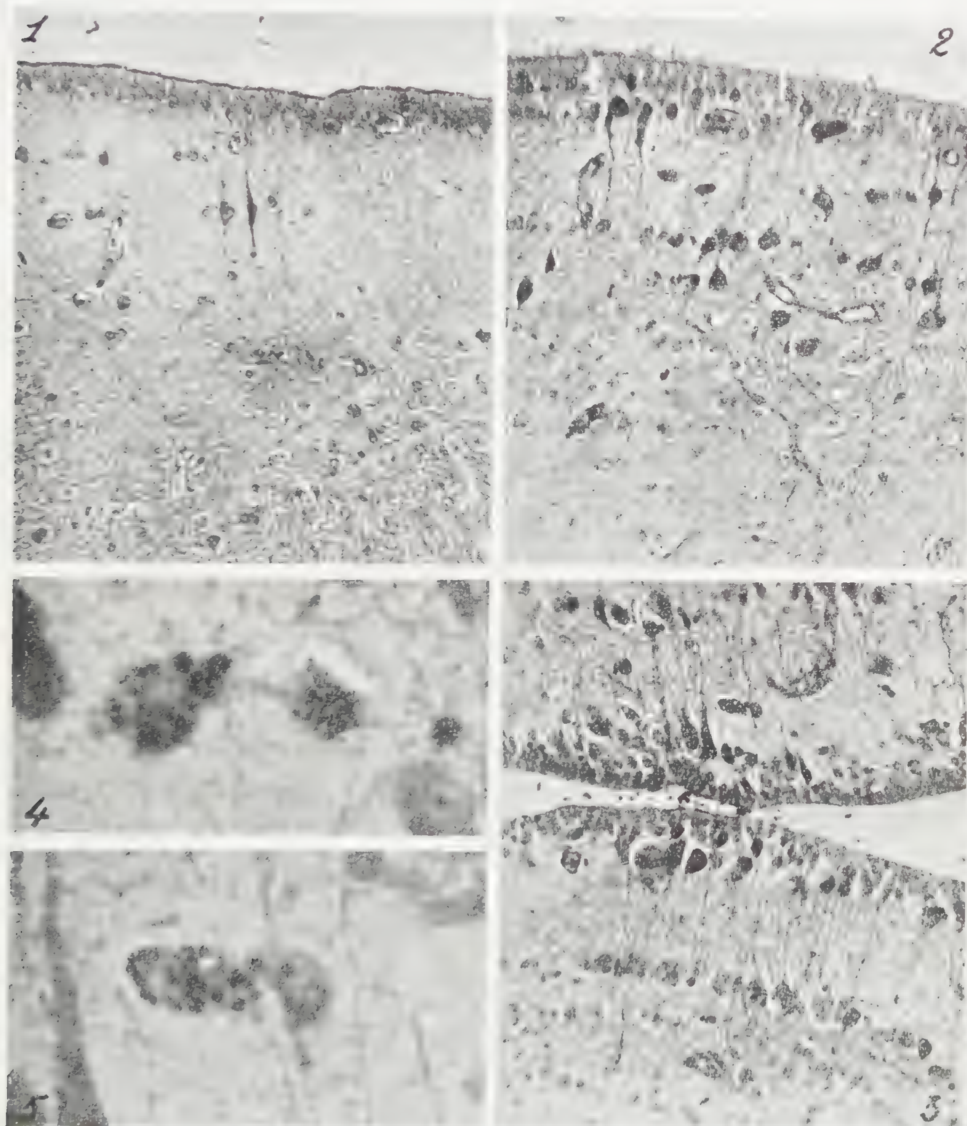
Les deux catégories de basophiles sont colorables par le réactif de Schiff à l'acide periodique, ce qui les a fait qualifier de Schiff-positives (P. A. S.). Les cellules β sont spontanément colorables par la fuschsine-paraldéhyde, après fixation au Bouin : les cellules δ ont besoin de subir une oxydation permanganique qui affaiblit d'autre part la colorabilité des cellules β, mais qui renforce celle des produits de neurosécrétion dans l'hypothalamus et dans la neurhypophyse (corps de Herring) où leur mise en évidence a d'abord été réalisée par l'emploi de l'hématoxyline chromique de Gomori.

Il est acquis que l'hyperthyroïdie expérimentale prolongée détermine un appauvrissement des cellules hypothalamiques en produits de neurosécrétion et une accumulation de ces substances au niveau de la pars nervosa de l'hypophyse, (Arvy, Fontaine et Gabe, 1956, chez la Truite; Courrier, Baclesse et Guyon, 1956, chez le Rat). Des injections de thyroxine provoquent, chez le Cobaye, la diminution du neurosécrétat au niveau de la voie hypothalamo-hypophysaire (Bugnon, 1957) [3].

Legait, chez la Poule Rhode-Island, a relaté dans une importante monographie les relations existant entre le système hypotalamo-hypophysaire et la glande thyroïde [4]. L'extrait thyroïdien, la thyroxine et la T. S. H. à doses modérées entraînent une légère activité des cellules neurosécrétoires; l'administration prolongée de ces hormones s'accompagne d'une activité thyroïdienne croissante et d'une diminution progressive de la neurosécrétion; l'hypoactivité des cellules neurosécrétoires s'observe sous l'action de très fortes doses de thyroxine. Ainsi, l'hyperthyroïdie suscite une hyperactivité hypothalamo-neurohypophysaire et l'hypothyroïdie une hypo-

activité de ces mêmes éléments, mais tous les états d'hypoactivité du système neurosécrétoire n'occasionnent pas obligatoirement une hypoactivité de la glande thyroïde.

Après avoir pratiqué la destruction de la région épiphysaire de la Tortue d'eau *Emys leprosa* Schw., nous avons recherché quel pouvait être le degré de surcharge en produits neurosécrétés des noyaux paraventriculaires.



Noyaux paraventriculaires de la Tortue d'eau *Emys Leprosa* Schw.

Fig. 1. — Tortue mâle adulte témoin, sacrifiée en mai 1960 (G × 220).
Fig. 2 et 3. — Tortue mâle adulte, sacrifiée en mai 1960, après destruction de l'épiphyse en décembre 1959 (G × 220).
Fig. 4 et 5. — Même animal : aspect de la surcharge intraprotoplasmique des cellules neurosécrétoires après destruction épiphysaire (G × 990).

Nous avons examiné les noyaux paraventriculaires de Tortues dont l'épiphyse avait été détruite cinq mois auparavant et les avons comparés à ceux de témoins normaux. La destruction épiphysaire a déterminé une augmentation spectaculaire de la neurosécrétion, dont la substance est mise en évidence par la fuchsine-paraldéhyde, à la fois dans les protoplasmas, autour des noyaux cellulaires et dans les prolongements qui deviennent ainsi faciles à suivre, tatoués qu'ils sont par leurs grains et leurs chaînettes de neurosécrétion. Nous en donnons des photographies à un grossissement de 220 à 990 diamètres, avec en regard une image empruntée à une tortue normale témoin.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) E. Aron, C. Combescot et J. Demaret, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3386.

(2) E. Aron, C. Combescot et J. Demaret, *Thyréostimulation et repos sexuel après destruction de la région épiphysaire chez* Emys leprosa *Schw.*, Soc. Biol., Poitiers, séance de juillet 1960.

(3) L. Arvy, M. Fontaine et M. Gabe, *C. R. Soc. Biol.*, 150, nº 4, 1956, p. 625; *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 81, nºs 2-3, 1956, p. 168; R. Courrier, M. Baclesse et L. Guyon *in* R. Courrier, F. Morel et A. Colonge, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 333; C. Bugnon, *Contribution à l'étude de la neurosécrétion diencéphalique*, *Thèse méd.*, Paris, 1957.

(4) H. Legait, *Contribution à l'étude morphologique et expérimentale du système hypothalamo-neurohypophysaire de la Poule Rhode-Island*, *Thèse d'Agrégation de l'Enseignement supérieur*, Louvain, 1959, S. I. T., Nancy.

(*École de Médecine, Laboratoire d'Histologie, Tours.*)

BIOLOGIE. — *Variations de la pression osmotique de* Picea excelsa *à la suite des attaques de* Dendroctonus micans *Kug.* (Coléopt. Scolytidæ). Note (*) de M. **Constantin Chararas**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Redoutable parasite de *Picea excelsa* en Europe centrale et orientale, *Dendroctonus micans* Kug. n'a fait jusqu'ici que des apparitions sporadiques dans l'Est de la France. Il convient donc de signaler sa présence dans la forêt domaniale de Saint-Prix (Morvan) où nous l'avons découvert pour la première fois au mois de mai 1959. Un an plus tard, nous avons pu suivre pendant plusieurs mois l'extension et les modalités d'attaque de cet Insecte dont l'influence sur l'économie forestière est extrêmement importante puisqu'il peut s'attaquer aux épicéas les plus vigoureux.

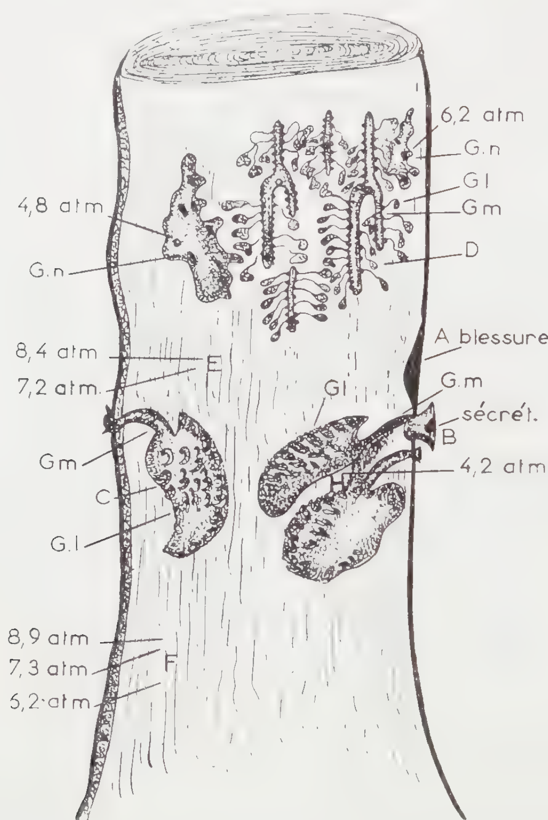
L'étude approfondie du liquide cortical de nombreux épicéas nous a montré en effet que *Dendroctonus micans* Kug. se rencontre sur des sujets à pression osmotique tout à fait normale, de 7,5 à 9,5 atm. Il faut noter cependant que l'Insecte manifeste une préférence très nette pour certains arbres ou même pour une zone localisée du tronc, où il se trouve en surpopulation. C'est pour cette raison que nous avons cherché à préciser le rôle de l'équilibre physiologique de l'épicéa dans les relations entre l'Insecte et la plante-hôte.

De manière générale, les arbres blessés sont incontestablement plus propices à l'installation de *D. micans* Kug., ce qui s'explique certainement par la baisse de la pression osmotique enregistrée au voisinage de la zone lésée. Mais nous pensons qu'il existe également à l'origine de la localisation préférentielle des Insectes dans cette zone un stimulus chimique résultant de l'oxydation des substances terpéniques au niveau de la blessure.

Par ailleurs, la libération des produits terpéniques varie selon les conditions climatiques et le même arbre peut devenir sensiblement plus attractif lorsque la région se trouve exposée à un ensoleillement direct, après une période pluvieuse. Les cellules corticales lésées perdent en effet leur pouvoir osmotique, si bien qu'il n'y a plus absorption d'eau par voie d'osmose, mais imbibition passive des tissus morts jusqu'à complète saturation. A ce stade, l'ensoleillement direct active le processus d'oxydation et, sous l'action combinée de l'air et de l'eau, la concentration terpénique diminue rapidement dans la zone traumatisée qui devient tout spécialement attractive. C'est ainsi que sur 386 épicéas attaqués nous avons dénombré 342 sujets blessés par le vent ou par la chute des arbres voisins lors de l'exploitation.

La nidification de *Dendroctonus* aggrave d'ailleurs rapidement les effets du traumatisme initial, car dans les régions attaquées, la pression osmotique accuse une baisse sensible, de 8,7 atm lors de l'installation des Insectes à 4,2 atm 48 jours plus tard. En détruisant une partie de l'écorce, l'Insecte détermine en effet une nouvelle diminution des échanges osmotiques, ce qui explique la baisse de pression osmotique enregistrée aux endroits attaqués, les tissus sains conservant au contraire un pouvoir osmotique sensiblement constant.

Il faut signaler, en outre, qu'au voisinage de l'attaque, la partie vivante de l'écorce et des vaisseaux criblés prend une coloration brunâtre, signe certain de modifications physicochimiques locales; ces modifications se trouvent d'ailleurs confirmées par les variations anormales du taux d'humi-



Représentation schématique des attaques de *Dendroctonus micans* Kug. et de *Ips typographus* L. sur un tronc de *Picea excelsa*. En A, blessure initiale lors de l'exploitation des arbres voisins. En B, sécrétion résineuse caractéristique avec système de galeries de *D. micans* Kug. (Gm, galerie maternelle; Gl, galeries larvaires). En C, galerie maternelle (Gm) et galeries larvaires (Gl) d'un autre système formant avec le précédent une attaque circulaire qui détermine un déséquilibre physiologique généralisé du biotope. En D, zone d'installation de *Ips typographus* L. avec plusieurs systèmes montrant les galeries maternelles Gm, les galeries larvaires Gl et les morsures de nutrition Gn; noter la basse pression osmotique comprise entre 4,8 et 6,2 atm. En E, zone non attaquée, au niveau de laquelle les variations de pression osmotique restent relativement faibles avec 8,4 atm à l'origine et 7,2 atm 15 jours plus tard. En F, zone saine avec une pression osmotique tout à fait comparable à celle de la zone E. Au contraire, dans la zone H, très attaquée avec deux systèmes de *Dendroctonus*, la pression osmotique n'atteint plus que 4,2 atm au bout de 48 jours.

dité corticale, qui peut passer brusquement de 85 % en période de pluie, à 15 % après exposition directe aux rayons solaires.

Bien que *Dendroctonus micans* Kug. s'installe de préférence sur les arbres blessés, il peut également attaquer des épicéas vigoureux; mais il est alors assez fréquent de trouver des trous de pénétration sans aucune trace d'évolution larvaire, et il arrive même parfois que les Insectes aban-

donnent l'arbre après y avoir pratiqué l'orifice d'entrée. L'analyse du liquide cortical fait apparaître dans ce cas une pression osmotique optimale de 9,2 atm qui atteste la pleine vitalité des sujets étudiés. Ceux-ci se trouvent dans les meilleures conditions physiologiques et c'est ce qui leur permet de réagir aux attaques de *Dendroctonus micans* Kug.; l'Insecte n'en reste pas moins un insecte primaire, car lorsqu'il y a surpopulation, ou en l'absence d'arbres blessés, il ne craint pas de s'attaquer aux épicéas en parfaite santé. Il prépare ainsi l'installation et l'extension de *Ips typographus* L. en créant les conditions propices à l'évolution de cette espèce.

Il faut ajouter enfin que *Dendroctonus micans* Kug. pond en moyenne de 80 à 110 œufs, et peut donner, selon les conditions climatiques, une ou deux générations annuelles, ce qui en fait une grave menace pour l'économie forestière en raison des dégâts considérables qu'il est susceptible de provoquer dans les peuplements d'épicéas.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

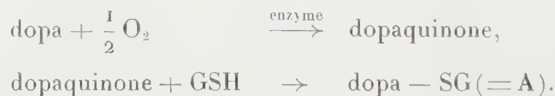
(*Laboratoire de zoologie agricole. Institut national agronomique,*
16, *rue Claude-Bernard, Paris,* 5e.)

BIOCHIMIE. — *Combinaison des thiols avec les quinones se formant au cours de la mélanogénèse.* Note (*) de Mlle SIMONE BOUCHILLOUX et Mme ANNIE KODJA, présentée par M. René Fabre.

Des combinaisons de type thioéther ont été caractérisées par action d'un excès de thiol (glutathion, cystéine) sur les quinones se formant au cours de la mélanogénèse.

L'action inhibitrice des thiols sur la formation des mélanines est connue depuis longtemps sans qu'on ait pu déterminer si elle provient d'une inhibition de la polyphénoloxydase ou d'une combinaison avec un ou plusieurs intermédiaires de la mélanogénèse ([1]). Les travaux relatifs à cette deuxième hypothèse sont partiellement contradictoires et difficiles à interpréter ([2]), ([3]), ([4]). L'utilisation comparée de la chromatographie sur papier [récemment appliquée à l'étude de la mélanogénèse *in vitro* ([5])], de la spectrophotométrie (appareil enregistreur « Beckman DK_2 ») et de la manométrie, nous a permis de dégager les faits principaux suivants :

— Si l'on oxyde la L-dihydroxyphénylalanine (dopa) par la polyphénoloxydase [enzyme purifiée de *Psalliota campestris* ([6])] à des pH compris entre 6,0 et 6,8 (tampon phosphates), en présence d'un assez grand excès de glutathion (GSH) (2 moles/mole), le milieu reste incolore. La spectrophotométrie et la chromatographie sur papier en divers solvants (*voir* tableau) indiquent la disparition très rapide de la dopa, remplacée par un composé A (λ_{max} 291 et 255,5 mμ, λ_{min} 275 mμ), *o*-diphénolique, acide α-aminé, non indolique. Ces propriétés ont été confirmées avec A purifié isolé par chromatographie sur charbon « Activit 50 XP » afin d'éliminer le glutathion oxydé (GS-SG) éventuellement présent; en fait, il ne s'en forme que des traces. La consommation d'oxygène est de 1 atome par molécule de substrat. Ces faits permettent de conclure au schéma réactionnel suivant :



$$\text{dopa} + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{\text{enzyme}} \text{dopaquinone},$$

$$\text{dopaquinone} + \text{GSH} \rightarrow \text{dopa} - \text{SG}(= \text{A}).$$

Le composé dopa-SG, non oxydable par la polyphénoloxydase, est particulièrement stable et ne s'autoxyde que très lentement en un pigment jaune, puis brun, soluble dans l'eau. Les faits sont comparables avec la cystéine (CSH) mais la dopa-SC est moins stable.

— Si l'on oxyde de même le 5,6-dihydroxyindole (diOHI.) [préparé extemporanément ([7])], à des pH compris entre 6,0 et 6,8 en présence de GSH (de 1 à 5 moles/mole), on observe la formation très rapide d'un composé majoritaire α, *o*-dihydroxylé, acide α-aminé, indolique, accompagné d'une faible proportion de β. Le milieu reste incolore (λ_{max} 307

et 295 mμ, λ_{min} 260 mμ) pendant un temps variable selon la quantité de GSH : de quelques minutes à plusieurs heures. Il apparaît ensuite un pigment vert, soluble dans l'eau (λ_{max} 615, 380 et 315 mμ). La consommation d'oxygène avec un rapport GSH/substrat de 5/1 est de 1 atome par molécule de dihydroxyindole. On peut conclure que α est le 5,6-dihydroxyindole-SG.

	R_f en				Réactions avec			
	BuOH acétique (*).	Me-Et-cétone acétique (**).	H_2O (papier lavé).	Fluorescence L. de Wood.	Ninhydrine.	NO_3Ag + NH_4OH.	R. d'Ehrlich.	R. d'Arnow.
GSH	0,05	0,57	0,96		+			
GS-SG	0,00	0,27	0,96					
CSH	0,18	0,70	0,96		—			
CS-SC	0,00	0,27	0,96		+			
Dopa	0,09	0,61	0,70		—	—	—	+
A = dopa-SG	0,01	0,28	0,91		+	+	—	+
Dopa-SC	0,01	0,29			+	+	—	+
Dopachrome			0,91	Opaque	—	+	+	
DiOHI	0,70	0,80	0,40	Bleu	—	+	+	+
Carb. diOHI	0,40	0,90	0,20-0,70	»	—	+	+	+
α = diOHI-SG	0,04	0,57	0,89	»	+	—	+	+
β	0,00	0,23		»	?	+	+	+
α′ = carb. diOHI-SG	0,02	0,52	0,89	»	—	+	+	+
β′	0,00	0,22		»	?	+	+	+
X	0,01	0,31	0,96	Jaune				
Phosphates	0,03	0,50	0,96			+		
Noradrénaline	0,20	0,75	0,16		—	+		
Noradrénaline-SG	0,01	0,28			+	+		

(*) *n*-butanol-acide acétique-eau : 78-5-17.
(**) Méthyléthylcétone-acide acétique-eau : 75-25-30.

— Des expériences non quantitatives avec le 2-carboxy-5,6-dihydroxyindole (carb. diOHI.) [préparé extemporanément ([5])] conduisent à une conclusion similaire : formation très rapide de α′ et d'une faible quantité de β′ : λ_{max} 320 et 310 mμ, λ_{min} 275 mμ.

— L'oxydation de la dopa par la polyphénoloxydase à pH 6,8 en présence de quantités de GSH (ou de CSH) comprises entre 1 et 1,5 mole/mole conduit à un ensemble complexe de réactions. Il y a compétition entre le groupement SH du GSH et le groupement NH_2 de la dopa. Le milieu rosit rapidement. On observe avec la disparition de la dopa, à la fois la formation de dopa-SG et celle de dopachrome, lequel conduit successivement au 5,6-dihydroxyindole puis au 5,6-dihydroxyindole-SG. Une substance de fluorescence jaune, X, surtout présente dans les premières minutes et qui est augmentée par le bisulfite nous reste inconnue. On obtient finalement une oxydation rapide des thioéthers, probablement copolymérisés, en un pigment noir verdâtre, soluble dans l'eau.

Ces faits sont à rapprocher des observations de Roston [7] avec la noradrénaline et l'adrénaline, et de Heacock [8] avec l'adrénochrome. Des expériences comparatives avec la noradrénaline nous ont permis d'identifier le composé noradrénaline-SG. Nous avons observé que le noradrénochrome en présence d'un large excès de GSH à pH 6 se réarrange en dihydroxyindole puis dihydroxyindole-SG. L'analogie avec les travaux antérieurs relatifs au catéchol [9], [10], [11] est également à souligner.

Les faits exposés peuvent rendre compte de l'action inhibitrice des thiols par blocage de la mélanogénèse au stade dopa-SG. Ils conduisent d'autre part à envisager l'éventualité de la formation de pigments noirs soufrés différents des mélanines, notamment par leur solubilité dans l'eau, à moins qu'ils ne soient combinés à des protéines insolubles. L'étude de la réactivité des groupements —SH de protéines sulfhydrylées à l'égard des quinones étudiées ci-dessus est en cours.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) A. B. Lerner et T. B. Fitzpatrick, *Pigment Cell Growth*, Myron Gordon, Academic Press, New-York, 1953, p. 319.

(2) R. R. Kohn, *Enzymologia*, 17, 1955, p. 193.

(3) H. S. Mason, *Pigment Cell. Biology*, Myron Gordon, Academic Press, New-York, 1959, p. 563.

(4) S. Roston, *J. Biol. Chem.*, 235, 1960, p. 1002.

(5) S. Bouchilloux et A. Kodja, *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 42, 1960, p. 65.

(6) Préparée par le Docteur Kertesz (D. Kertesz et R. Zito, *Nature*, 179, 1957, p. 1017).

(7) S. Roston, *Arch. Biochem. Biophys.*, 85, 1959, p. 74.

(8) R. A. Heacock et B. A. Scott, *Canad. J. Biochem. Physiol.*, 37, 1959, p. 1087.

(9) M. G. M. Pryor, *J. Exptl. Biol.*, 32, 1955, p. 468.

(10) H. S. Mason, *Nature*, 175, 1955, p. 771.

(11) A. Kodja et S. Bouchilloux, *C. R. Soc. Biol.*, 154, 1960, p. 737.

(*Laboratoire de Chimie biologique, Faculté de Médecine et de Pharmacie, Marseille.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Existence d'une forme « combinée » de l'acide 2-cétogluconique dans les cultures d'une souche de* Pseudomonas fluorescens. Note (*) de M. **Benoît Wurtz** et Mme **Denise Cagniant**, présentée par M. Roger Heim.

Des recherches antérieures ([1]) sur le métabolisme de Bactéries, qu'il a été possible d'identifier depuis lors à une souche de *Pseudomonas fluorescens*, ont montré que les cultures de ces germes, faites en milieux glucosés, chlorurés, renferment un glucoprotéide précipitable à l'acétate de plomb et dont la composition, en ce qui concerne la fraction minérale est sensiblement constante (Pb : 52,5 à 53,5 %; Cl' : 6,24 à 6,81 %). La fraction organique de ce composé est constituée d'une partie protidique (présence d'azote, réaction du biuret fortement positive) et d'une partie glucidique (réduction des sels de cuivre et d'argent, réaction de Berg propre aux acides-alcools, positive; réduction de l'acide phosphomolybdique; formation de furfural à la distillation chlorhydrique), mais ne renferme pas de glucose (réaction à l'α-naphtol négative, pas d'osazone par la phénylhydrazine). Une substance glucoprotéidique à propriétés analogues a pu être extraite des mêmes milieux par une méthode plus douce (faisant intervenir les résines échangeuses d'ions) et sa fraction glucidique a été identifiée à l'acide 2-cétogluconique. La technique utilisée est la suivante : les cultures en eau peptonée glucosée, âgées de 48 h, débarrassées des corps microbiens, sont passées d'abord sur « Permutite C 50 » qui retient les cations et les substances à fonction basique (peptides, amino-acides), puis sur « Déacidite A 300 D ». La fraction retenue sur cette résine échangeuse d'anions est éluée par l'acide formique à 10 % et soumise à l'analyse après élimination de l'agent d'élution (par extraction éthérée suivie d'évaporation sous vide). Contrairement au résultat que permettrait de prévoir la nature de la résine employée, le composé retenu sur Déacidite renferme non seulement un constituant acide, normal, mais encore un constituant à caractère *basique* qui a été identifié à un polypeptide de composition voisine de celle de la peptone entrant dans le milieu de culture. La teneur en azote, constante pour les divers échantillons analysés, oscille entre 4,64 et 4,66 %. L'analyse du composé a été effectuée par chromatographie sur papier du produit d'hydrolyse chlorhydrique (HCl 2 N, 30 mn à 120° C) qui a révélé la présence de la quasi-totalité des amino-acides constitutifs de la peptone. D'autre part, le composé retenu sur « Déacidite » donne une intense réaction de Berg, présente un fort pouvoir réducteur vis-à-vis des sels de cuivre, d'argent et de l'acide phosphomolybdique; il fournit des quantités importantes de furfural à la distillation chlorhydrique. Le spectre d'absorption infrarouge présente d'une part une bande à 1745 cm^{-1} caractéristique des acides α-cétoniques ([2]), d'autre part un couple de bandes à 1665 et 1540 cm^{-1}

révélant la présence de fonctions amides. Le constituant acide a été identifié à l'acide 2-cétogluconique après transformation en sel de calcium : la fraction retenue sur « Déacidite » est traitée par du carbonate de calcium et centrifugée; la solution surnageante est concentrée et additionnée d'un excès d'éthanol à 96° : il se forme un précipité pâteux qui cristallise progressivement. Les cristaux sont recueillis, séchés sous vide et analysés : ils donnent la réaction de Berg, réduisent fortement l'acide phosphomolybdique, les sels de cuivre et d'argent, produisent du furfural. Ils renferment 10,15 % de calcium. Ces propriétés sont identiques à celles d'un échantillon authentique de 2-cétogluconate de calcium préparé d'après la technique de De Moss [3] avec une souche de *Pseudomonas fluorescens* d'origine connue (provenant de la collection de l'Institut Pasteur n° 5690). La substance retenue sur « Déacidite » renferme donc simultanément de l'acide 2-cétogluconique et un polypeptide.

Ces observations permettent de *conclure* que : dans les cultures en milieux glucosés de la souche de *Pseudomonas fluorescens* étudiée, l'acide 2-cétogluconique, produit normal du métabolisme de ce germe, existe sous une forme associée à une fraction polypeptidique. Cette substance, dans laquelle les présentes recherches ne permettent pas de préciser la nature des forces d'association, n'est pas un simple mélange car les propriétés du constituant azoté sont différentes de celles des polypeptides et aminoacides libres du milieu : il est retenu, non sur « Permutite », mais sur « Déacidite ». Les rapports structuraux que cette combinaison présente, d'une part avec le glucoprotéide extrait par précipitation plombique [1], d'autre part avec une substance analogue extraite des cultures de la souche de *Pseudomonas fluorescens* n° 5690 de l'Institut Pasteur, font l'objet de recherches actuellement en cours.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

[1] B. Wurtz et Mme D. Cagniant, *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 39, 1957, p. 1139.

[2] A. Weissberger, *Techniques of Organic Chemistry*, IX, Chemical Applic. of Spectroscopy, p. 454, Inters. Pub. New-York, 1956.

[3] R. D. De Moss, in *Methods in Enzymology*, S. P. Colowick, N. O. Kaplan, III, p. 234, Academic Press, New-York, 1957.

(*Institut de Chimie biologique, Faculté des Sciences, Université de Strasbourg.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Sur l'origine de l'oxygène dégagé au cours de la photosynthèse*. Note (*) de MM. **Eugène Roux**, **Pierre Guérin de Montgareuil**, **Jean-Michel Galmiche** et **Jacques Duranton**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

Les expériences relatées dans cette Note ont permis d'évaluer la part de l'oxygène des ions phosphates dans l'oxygène libéré au cours de la photo-synthèse chez les végétaux chlorophylliens.

Le problème de l'origine de l'oxygène produit par photosynthèse a été jusqu'ici abordé avec l'emploi de molécules CO_2 ou H_2O marquées à l'oxygène 18. Un résultat classique est que l'oxygène dégagé possède la composition isotopique de l'eau ([1]), ([2]).

L'importance des réactions de photophosphorylation liées à la genèse des liaisons phosphates riches en énergie nous a conduit à examiner le cas où l'oxygène 18 est apporté au sein d'une molécule de phosphate minéral. L'expérience est réalisée sur une feuille de tabac suivant le schéma de la figure ci-après.

La feuille dont le pétiole plonge dans une solution de phosphate d'ammonium doublement marqué avec ^{32}P et ^{18}O est disposée dans une enceinte de « plexiglass » transparente, étanche et de petite dimension (80 ml) afin de diluer le moins possible l'oxygène provenant de la photosynthèse. Un circuit fermé permet de compenser les variations de composition de l'atmosphère de l'enceinte. Il comporte, dans l'ordre :

— un piège à neige carbonique pour retenir l'eau de transpiration qui perturberait l'analyse du CO_2;

— un dispositif d'introduction discontinue, à mesure que le gaz carbonique est consommé, du mélange $CO_2 + 4\,N_2$ en vue de maintenir une composition voisine de celle de l'air;

— une vessie de caoutchouc qui permet d'opérer à volume variable et pression constante;

— un dispositif de prélèvement d'échantillons pour analyse au spectromètre de masse;

— une pompe à membrane qui assure la circulation et le mélange des gaz;

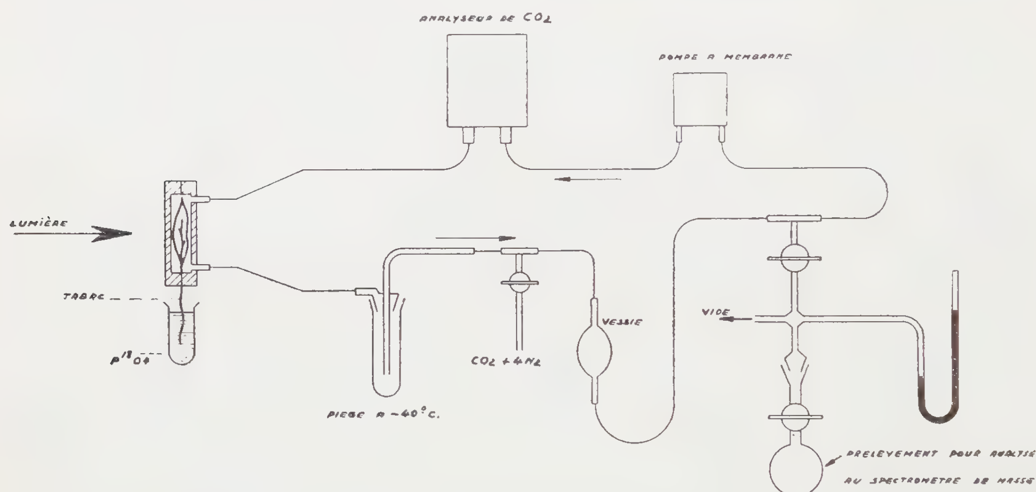
— un analyseur de CO_2 par absortiométrie infrarouge non dispersive.

L'abondance isotopique en excès de l'oxygène 18 dans le phosphate est de 48 %; les 50 μ curies de $^{32}PO_4$ ajoutés servent à connaître le taux d'incorporation du phosphate dans la feuille. L'éclairement en lumière blanche est de l'ordre de 10 000 lx.

L'expérience dure 9 h pendant lesquelles on effectue à quatre reprises un prélèvement de gaz sur le circuit pour analyse au spectromètre de masse. L'atmosphère de l'enceinte où se trouve la feuille et du circuit

est entièrement renouvelée à chaque fois. Le premier prélèvement est opéré au bout de 2 h à la fin de la nutrition pétiolaire, la feuille ayant alors absorbé 2,5 mg de phosphore, soit 2,8 mg d'oxygène 18. Après quoi la solution de phosphate est remplacée par de l'eau pure. Les autres prélèvements ont lieu respectivement après 4, 6 et 9 h.

Après les temps de 4 et 6 h, on prélève également avec un emporte-pièce des rondelles de tissus foliaires qui sont immédiatement plongées dans l'azote liquide et broyées ; la poudre est ensuite lyophilisée et l'eau soumise à une réaction d'échange avec du CO_2 pour la détermination de sa teneur en oxygène 18 ([3]).



L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau ci-dessous. Le volume initial, enceinte + circuit, est toujours de 140 ml ; le volume final est dans chaque cas déterminé par la quantité du mélange $CO_2 + 4\ N_2$ qu'il a fallu introduire. L'analyse effectuée sur l'atmosphère globale de la feuille permet de remonter à la composition de l'oxygène d'origine photosynthétique. Dans une première démarche on néglige la faible perturbation due à l'oxygène consommé par la respiration.

	Atmosphère de la feuille (enceinte + circuit).		Abondance isotopique en excès de l'oxygène 18 (%).	
Temps (h).	Volume (ml).	Teneur.	Oxygène de la photosynthèse.	Eau de la feuille.
0	140	20,9 % O_2	0	–
2	290	22 »	0,018	–
4	240	21,8 »	0,047	0,035
6	240	19,5 »	0,082	0,036
9	240	22 »	0,040	–

Dans les deux cas où la comparaison est possible, on constate que la teneur en isotope 18 de l'oxygène produit au cours de la photosynthèse est supérieure à celle de l'eau de constitution de la feuille. Par ailleurs, l'allure

des évolutions ne permet guère d'attribuer à l'eau un rôle de précurseur immédiat, surtout lorsqu'on connaît la rapidité de la réponse de l'oxygène dégagé à un marquage de l'eau par l'oxygène 18.

Des expériences portant sur une durée plus brève (30 mn) de nutrition pétiolaire avec le phosphate conduisent à la même constatation. Ainsi, 140 mn après la fin de l'absorption du phosphate, les abondances isotopiques en excès de l'oxygène 18 sont respectivement de 0,040 et 0,011 % pour l'oxygène dégagé et pour l'eau de la feuille.

Ces résultats ne sont pas en contradiction avec l'énoncé classique fondé sur l'identité de composition isotopique de l'eau et de l'oxygène : il n'est pas surprenant que la source de l'oxygène photosynthétique réside finalement dans l'eau, puisque celle-ci constitue plus de 90 % de la feuille et contient près de 90 % d'oxygène qui participe activement aux réactions d'hydrolyse des composés phosphorylés. C'est le mécanisme proposé de la photolyse de l'eau qui est ici mis en cause. Les présentes expériences posent en termes renouvelés dans le sens d'une relation directe avec les processus de photophosphorylation, le problème du mécanisme de production de l'oxygène libéré par la cellule chlorophyllienne exposée à la lumière.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) S. Ruben, M. Randall, M. Kamen et J. L. Hude, *J. Amer. Chem. Soc.*, 63, 1941, p. 877.

(2) A. P. Vinogradov et R. V. Teiss, *Doklady Acad. Sc. U. R. S. S.*, 33, 1941, p. 490.

(3) M. Cohn et H. C. Urey, *J. Amer. Chem. Soc.*, 60, 1938, p. 679.

(*Service de Biologie C.E.A., Saclay.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Étude sur le mode d'action des biguanides hypoglycémiants.* Note (*) de M. **François Meyer**, présentée par M. Jacques Duclaux.

Mise en évidence d'une absence de corrélation entre l'action hypoglycémiante des biguanides et leur effet inhibiteur sur la respiration et la phosphorylation oxydative.

Certains dérivés guanidiques, alkyl- et biguanides en particulier, provoquent sur l'animal une baisse de la glycémie qui reflète une accélération du transfert du glucose vers les tissus.

L'étude de l'action de la phénéthyl-biguanide a conduit plusieurs auteurs [Wick, Ellen et Larson (1), Williams et Tyberghein (2), Ungar (3)] à montrer que cette substance inhibe la phosphorylation oxydative ainsi que la respiration de divers substrats du cycle tricarboxylique, en particulier celui du succinate. L'hypoglycémie serait, selon ces auteurs, due à une augmentation de la glycolyse anaérobie.

Les résultats expérimentaux que nous avons obtenus en comparant l'action de la phénéthyl-biguanide avec celle de la NN-diméthylguanylguanidine sur les mitochondries de foie et le diaphragme du Rat, infirment cette hypothèse et nous ont conduit à une interprétation différente de l'action des biguanides.

Techniques. — *a.* Pour étudier l'effet des guanides sur la respiration et la phosphorylation oxydative, nous avons isolé des mitochondries de foie de rat (mâles de 150 à 200 g, nourris avec un régime de composition constante) dont la séparation a été effectuée par centrifugation fractionnée dans du saccharose à 0,25 M à 0°, selon Potter (4). Incubation 30 mn à 30° dans des fioles de Warburg d'un milieu composite comprenant : Tampon phosphate de K, pH 7,3, 0,14 M; $MgCl_2$, 0,005 M; ATP, 0,002 M; tampon Tri-(hydroxy) méthylaminométhane) pH 7,3 0,050 M, glucose, 0,020 M; hexokinase de levure « Sigma » 20 % pure, 1 mg; NaF, 0,020 M; mitochondries : 5 mg de protéine. Après l'incubation nous avons précipité les protéines avec de l'acide trichloracétique (TCA) 4 % et dosé sur le surnageant le phosphore minéral non estérifié.

b. Pour déterminer la stimulation de la production d'acide lactique dans le muscle, nous avons incubé des diaphragmes de rats mâles de 100 g dans un tampon Ringer-Phosphate à pH 6,8 qui contenait 4 % de glucose. Température : 37°. Gaz : O_2 pur. Les dosages d'acide lactique ont été effectués sur la totalité du contenu après défécation, avec la lactico-déshydrogénase de levure purifiée, avec du ferricyanure comme accepteur (5).

Résultats. — Le tableau I montre que l'action des guanides sur les mitochondries, en présence de succinate comme substrat, n'est pas liée à leur

action hypoglycémiante. Certains guanides, tels que la guanidine et la paludrine, dont l'action hypoglycémiante est très faible, inhibent l'action de la succinooxydase plus fortement que ne le font les guanides hypoglycémiants. Par contre, la diméthyl-biguanide dont le pouvoir hypoglycémiant

TABLEAU I.

Action sur la respiration du succinate et sur la phosphorylation oxydative de différents dérivés guanidiques d'activité hypoglycémiante décroissante.

	Inhibition de la respiration (%).			Rapport P/O (*).		Indice de l'activité hypoglycémiante.
Mol/l.	10^{-2}.	5.10^{-2}.	10^{-1}.	10^{-2}.	5.10^{-2}.	
Synthaline	46	76	90	0,4	0,2	1,0
Phénéthyl-bg	33	73	100	0,2	0,2	0,5
Diméthyl-bg	0	0	5	1,8	1,8	0,1
Monométhyl-bg	23	38	52	0,5	0,3	0,001
Diméthyl-G	18	32	40	0,2	0,2	0,001
Guanidine	100	100	100	0,1	0,1	0,001
Paludrine	73	90	93	0,5	0,4	0,001

(*) P/O exprime le rapport moléculaire entre le phosphore estérifié et l'oxygène consommé au cours de la respiration du succinate.

TABLEAU II.

Action sur la respiration du succinate et sur la phosphorylation oxydative de deux biguanides hypoglycémiants.

Concentration.		Témoin.		Phénétyl-Bg.		Diméthyl-Bg.	
		O_2 (*).	P/O.	O_2.	P/O.	O_2.	P/O.
a.	10^{-2}	9,6	1,8	12,5	0	9,8	1,8
	5.10^{-3}	9,8	1,7	4,2	0,5	9,6	1,7
	10^{-3}	9,2	1,8	9,3	1,6	9,2	1,8
b.	10^{-2}	16,2	1,5	6,8	0,2	15,8	1,6
	5.10^{-3}	–	–	13,5	0,8	16,2	1,5
	10^{-3}	15,8	1,5	16,2	1,3	16,8	1,5

(*) Consommation de O_2 en microlitres par milligramme de mitochondries, exprimées en protéines, en 30 mn. Incubation à 30°.

TABLEAU III.

Action des biguanides sur la production d'acide lactique par le diaphragme.

Milligrammes d'acide (—*l*)-lactique/100 mg tissu frais. Incubation : 1 h à 37°.

Expérience.	Témoins.	Diméthyl-Bg 5.10^{-4}.	Témoins.	Phénéthyl-Bg 5.10^{-5}.
a	0,193	0,240	0,105	0,123
b	0,280	0,350	0,340	0,392
c	0,180	0,206	0,260	0,288
d	0,400	0,450	0,197	0,218
e	0,360	0,465	0,357	0,385

est proche de celui de la phénéthyl-biguanide, n'a aucune action inhibitrice ni sur la respiration, ni sur la phosphorylation oxydative. On remarquera que nous retrouvons avec la phénéthyl-biguanide les résultats obtenus par les auteurs (tableau II). En outre, à des concentrations *faibles* de biguanides (5.10^{-4} pour la diméthyl- et 5.10^{-5} pour la phénéthyl-biguanide) on constate une accélération de l'ordre de 15 à 20 %. *Il est clair qu'il n'y a pas de corrélation entre l'action hypoglycémiante des guanides et leur action inhibitrice sur la respiration et la phosphorylation oxydative des mitochondries.*

La stimulation de la respiration pour des doses faibles de biguanide n'a pas pu être retrouvée sur un organe intact, le diaphragme. Par contre, le tableau III permet de constater que la phénéthyl-biguanide et la diméthyl-biguanide accélèrent la glycolyse *aérobie* de ce tissu, menant à une formation accrue d'acide lactique.

Discussion. — Il ne semble donc pas que l'effet des biguanides sur le transfert du glucose dans les tissus soit dû à la suppression du métabolisme oxydatif; il semble, par contre, que ces substances exercent un effet sur l'accélération de la glycolyse *aérobie.* Une augmentation semblable de la glycolyse en présence d'une respiration intacte a été décrite par Dickens [6]. L'action stimulante des biguanides sur la glycolyse aérobie peut trouver son explication dans le fait qu'elles sont des inhibiteurs de l'amino-oxydase [Blaschko [7]]; cette question est actuellement à l'étude.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) N. Wick, R. Ellen, Larson et G. F. Serif, *J. B. C.*, 233, 1958, p. 296.
(2) J. M. Tyberghein et R. H. Williams, *Proc. Soc. Exptl. Med.*, 96, 1957, p. 29.
(3) G. Ungar, S. Psychoyos et H. A. Hall, *Metabolism Clinical and Experimental*, 9, 1960, p. 36.
(4) Potter in *Methods in Enzymology*, New-York, 1955.
(5) P. Slonimsky, W. Tyssarowski et F. Labeyrie (sous presse).
(6) F. Dickens, *B. J.* 33, 1939, p. 2017.
(7) H. Blaschko et R. Duthie, *B. J.*, 39, 1945, p. 347.

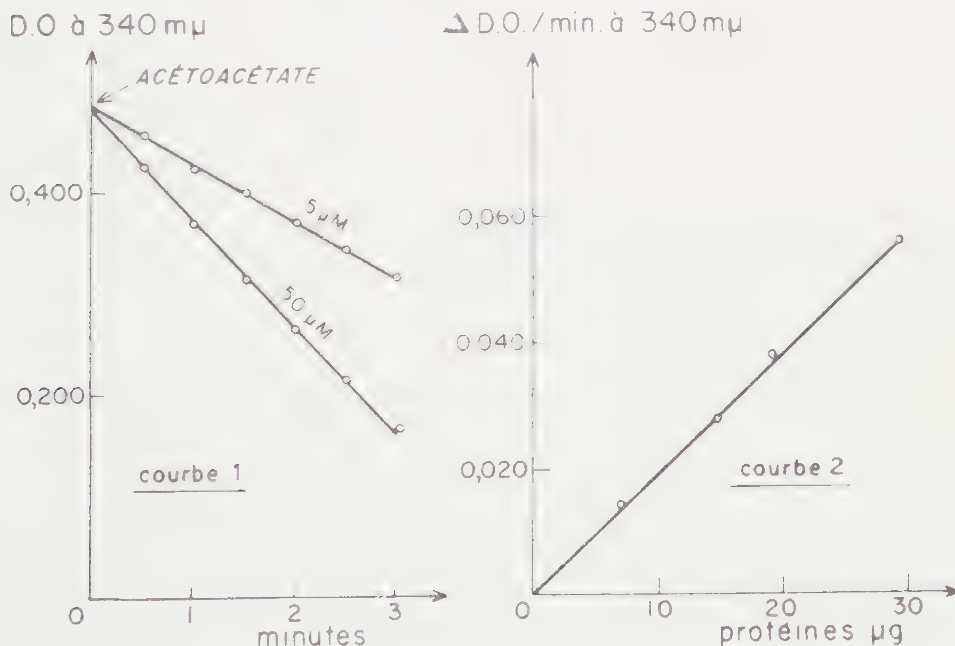
(*Institut de Biologie physicochimique, Service de Biochimie « B », Paris, 5e.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Étude de la* D (—)-β-*hydroxybutyrate déshydrogénase de* Bacillus Megatherium. Note (*) de M. **Raymond Gavard**, Mlles **Colette Combre** et **Anne Tuffet**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Propriétés d'une β-hydroxybutyrate déshydrogénase isolée à partir d'un extrait bactérien.

L'acide β-hydroxybutyrique existe dans la nature sous deux formes : la forme L (+)-dextrogyre (*d*-BoH) est métabolisée par les organismes supérieurs : sous forme de dérivé de la coenzyme A (*d*-BoH-CoA). Elle entre dans le cycle de dégradation des acides gras [1], [2] et l'une des enzymes qui agit sur elle, la β-hydroxybutyryl CoA déshydrogénase a été isolée et cristallisée [3], [4].

La forme levogyre D (—)-β-hydroxybutyrate (*l*-BoH) est intéressante à un triple point de vue : elle fait partie des corps cétoniques de l'organisme dont le métabolisme est mal connu. Elle est considérée avec l'α-céto-glutarate et le succinate comme un des métabolites qui initie les phénomènes d'oxydation phosphorylante [5]. Enfin, sous forme polymérisée, elle



entre dans la composition du lipide β-hydroxybutyrique découvert par Lemoigne [6] et synthétisé par divers microorganismes [7], [8], [9]. La déshydrogénase qui agit sur cette dernière forme, la D (—)-β-hydroxy-butyrate déshydrogénase a été découverte par Dakin [10]. Bien que l'existence de cette enzyme ait été signalée de nombreuses fois jusqu'à ce

jour ([11]), ([12]), deux études ont été faites et seulement avec des particules de cœur ou des mitochondries de foie de rat par Green ([13]) en 1937 et par Lehninger ([14]) en 1960.

Dans la présente Note, nous décrivons les propriétés d'une β-hydroxybutyrate déshydrogénase soluble, partiellement purifiée à partir d'un extrait de *Bacillus Megatherium.*

La préparation de l'extrait bactérien et la définition de l'unité d'activité enzymatique sont identiques à ce qui a été décrit dans une précédente Note ([15]). Les conditions opératoires sont les suivantes : tampon tri-(hydroxyméthyl) aminométhane (tris), pH 8,5, 200 μM; DPN (diphosphopyridine nucléotide), 1 μM; Mg^{++}, 3 μM; Mn^{++}, 3μM; *dl*-BoH, 30 μM; vol. 3 ml. Les méthodes et techniques utilisées ainsi qu'une littérature plus complète seront décrite dans un Mémoire ultérieur.

1° L'extrait brut renferme une DPNH oxydase qu'on élimine par chauffage et précipitation acide. Le tableau I indique les étapes de purification.

TABLEAU I.

	Volume (ml).	Protéines (en mg) par millilitre.	total.	Activité U/ml.	U/mg.
a. Extrait brut précipité au Am_2SO_4...	91	25	2 250	–	–
b. Après chauffage 55°...............	105	10	1 050	2 280	288
c. Première précipitation acide........	100	8,9	890	5 120	575
d. Chauffage à 60°....................	114	4,4	500	3 640	827
e. Deuxième précipitation acide........	110	3,8	420	4 160	1088

La très grande sensibilité de l'enzyme ne nous a pas jusqu'à ce jour permis d'obtenir des activités supérieures à 2 000 U/mg; dans ce qui suit, nous utilisons une protéine de 1800 U/mg.

2° L'enzyme agit selon l'équation



$$l\ \beta\text{-hydroxybutyrate} + \text{DPN} \underset{2}{\overset{1}{\rightleftarrows}} \text{acétoacétate} + \text{DPNH} + H^+.$$

La réaction est une réaction d'équilibre (courbe 1). La courbe 1 montre la réaction inverse pour deux concentrations d'acétoacétate.

Courbe 1 : La cuve du spectrophotomètre renferme : tampon tris pH 8,5, 200 μM; Mn^{++}, 3 μM; Mg^{++}, 3 μM; DPNH, 0,25 μM; acéto acétate, 5 μM et 50 μM; protéines, 145 μg.

3° La réduction du DPN est proportionnelle à la quantité de protéines pour les faibles concentrations de cette dernière. La courbe 2 montre cette proportionnalité.

Courbe 2 : Tampon tris, 200 μM; Mn^{++}, 3 μM; Mg^{++}, 3 μM; DPN, 1 μM; *dl*-BoH, 30 μM; vol. 3 ml; lecture à 340 mμ; protéines en microgrammes.

4° Le pH optimal d'activité est de 9,2 dans le tampon tris.

5° L'enzyme est spécifique du diphosphopyridine nucléotide (DPN). Le triphosphopyridine nucléotide (TPN) est sans action.

6° Elle est activée par le magnésium et surtout par le manganèse.

7° La déshydrogénase est spécifique de la forme *l* de l'acide β-hydroxybutyrique, la forme *d* est inactive.

8° Les constantes de dissociation du complexe enzyme substrat ont été calculées par la méthode de Lineweaver et Burk. Elles sont de $4,5.10^{-5}$ M pour le DPN; de $3,4.10^{-5}$ M pour le DPNH; de $5,4.10^{-4}$ M pour le *l* β-hydroxybutyrate; de $1,6.10^{-4}$ M pour l'acétoacétate; et enfin de $0,38.10^{-5}$ M pour le manganèse.

L'enzyme est stable à 4° pendant plusieurs semaines. Elle ne supporte pas toutefois la dialyse même en présence de réducteurs.

(*) Séance du 17 octobre 1960.
(1) F. Lynen et S. Ochoa, *Bioch. Bioph. Acta*, 12, 1953, *p.* 299.
(2) D. E. Green et coll., *J. Amer. Chem. Soc.*, 75, 1953, p. 4111.
(3) F. Lynen, L. Wesseley, O. Wieland et L. Rueff, *Angew. Chem.*, 64, 1952, p. 687.
(4) J. R. Stern, *Bioch. Bioph. Acta*, 26, 1957, p. 448.
(5) A. L. Lehninger, C. L. Wadkins, C. Cooper, T. M. Devlin et J. L. Gamble Jr., *Sciences*, 128, 1958, p. 451.
(6) M. Lemoigne, *Comptes rendus*, 176, 1923, p. 1761; *Ann. Inst. Pasteur*, 39, 1925, p. 144 et 148; *Helv. Chem. Acta*, 29, 1946, p. 1303.
(7) R. M. Macrae et J. F. Wilkinson, *J. Gen. Microbiol.*, 19, 1958, p. 199 et 210.
(8) W. G. Forsyth, *Nature*, 182, 1958, p. 800.
(9) H. B. Levene et H. Wolochow, *J. Bact.*, 79, 1960, p. 305.
(10) A. J. Wakeman et H. D. Dakin, *J. Biol. Chem.*, 6, 1909, p. 373.
(11) B. Nisman, G. N. Cohen, S. W. Wiesendanger et J. Szulmajster, *Comptes rendus*, 237, 1953, p. 1801.
(12) M. Lemoigne, C. Peaud Lenoel et M. Croson, *Ann. Inst. Pasteur*, 77, 1949, p. 211.
(13) D. E. Green, J. G. Dewan et L. F. Leloir, *Bioch. J.*, 31, 1937, p. 934,
(14) A. L. Lehninger, H. C. Sudduth et J. B. Wise, *J. Biol. Chem.*, 235, 1960. p. 2450.
(15) R. Gavard, C. Combre, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2243.

(*Service des Fermentations, Institut Pasteur.*)

PHARMACODYNAMIE. — *Les échanges calciques entre plasma sanguin et divers organes, étudiés chez le Rat mâle et femelle à l'aide de* ^{45}Ca (1). Note (*) de M. **Jean-Claude Stoclet**, présentée par M. René Fabre.

Les échanges calciques entre plasma sanguin et cœur, utérus, muscle strié sont étudiés à l'aide de ^{45}Ca. Les courbes d'activité spécifique en fonction du temps, de la première minute à la 48e heure, sont établies. Les équations de ces courbes, différentes suivant le sexe, marquent la diversité des modalités des échanges avec chaque organe.

L'influence qu'exerce le taux de calcium présent dans les milieux biologiques sur les effets de divers agents pharmacodynamiques (2) nous a conduits à analyser les échanges de ce métal entre le plasma sanguin et divers organes tels que le cœur, l'utérus, le muscle strié et l'intestin grêle. Ces échanges s'effectuent avec des caractéristiques propres à l'organe considéré (3) et ne sont pas circonscrits aux espaces extracellulaires de celui-ci (4).

Dans la présente Communication nous rapportons les résultats de recherches dont le but a été de préciser les modalités des échanges calciques pour chacun des organes suivants : cœur, utérus, muscle strié (gastrocnémien et vaste latéral), chez le Rat.

Suivant la méthode exposée dans la première Note (3), nous avons déterminé la radioactivité spécifique du calcium du plasma et des organes après administration par voie intraveineuse de 15 μC de $^{45}CaCl_2$ (0,02 mg de calcium) dans 0,25 ml de soluté de ClNa à 9 °/₀₀ (veine du penis du Rat mâle ou veine jugulaire du Rat femelle en diœstrus). Les animaux ont été sacrifiés 1, 2, 4, 5, 10, 20, 30, 60 et 120 mn après l'injection. D'autre part des déterminations aux temps 7, 24 et 48 h complètent les expériences précédentes (3).

Ces nouveaux résultats confirment ceux qui ont été rapportés antérieurement (3), (4). Leur ensemble portant sur 115 rats mâles et 50 femelles, nous permet de construire les courbes de la radioactivité spécifique du calcium du plasma et des organes en fonction du temps, de la première minute à la 48e heure après introduction du traceur (*fig.* 1 et 2).

L'étude graphique de ces courbes permet de calculer dans chaque cas leur équation. La radioactivité spécifique (R. S.) du calcium étant exprimée en pour-cent de la radioactivité injectée, par milligramme de calcium, et le temps en heures, ces équations s'écrivent :

1° pour le plasma des rats mâles :

$$\text{(1)} \qquad \text{R. S.}_1 = 50\, e^{-49,6t} + 13\, e^{-1,00t} + 1,3\, e^{-0,184t} + 0,4\, e^{-0,025t};$$

2° pour le cœur des rats mâles :

$$\text{(2)} \qquad \text{R. S.}_2 = 50\, e^{-49,6t} + 13\, e^{-1,00t} + 1,3\, e^{-0,184t} + 0,4\, e^{-0,025t};$$

3° pour le muscle strié des rats mâles :

$$\text{(3)} \qquad \text{R. S.}_3 = -3{,}63\, e^{-0{,}43t} + 4{,}50\, e^{-0{,}63t} + 3{,}10\, e^{-0{,}21t} + 0{,}53\, e^{-0{,}028t};$$

4° pour le plasma des rats femelles :

$$\text{(4)} \qquad \text{R. S.}_4 = 45\, e^{-58t} + 12\, e^{-0{,}90t} + 4{,}3\, e^{-0{,}20t} + 1{,}50\, e^{-0{,}025t};$$

5° pour l'utérus des rats femelles :

$$\text{(5)} \qquad \text{R. S.}_5 = -18{,}8\, e^{-25t} + 13{,}0\, e^{-0{,}95t} + 4{,}3\, e^{-0{,}20t} + 1{,}5\, e^{-0{,}025t}.$$

Dans chaque équation on distingue quatre termes exponentiels dont nous avons donné la signification physiologique dans la Note précédente (5).



Fig. 1. — Variation de l'activité spécifique du calcium du plasma sanguin et du muscle strié chez le Rat mâle de 200 g et du plasma sanguin chez le Rat femelle de 200 g, de 10 mn à 48 h après l'injection de ^{45}Ca.

La comparaison des équations du plasma des animaux mâles et femelles montre une concordance dans la vitesse des échanges, mais une différence significative dans les quantités de calcium échangées pour les deux termes les plus lents.

Remarquons que pour un même poids (200 ± 5 g) les rats mâles et femelles ne sont pas à un même stade de croissance : les mâles sont âgés de deux mois, les femelles de quatre mois environ.

Pour les rats mâles, l'équation concernant le cœur est identique à l'équation concernant le plasma, ce qui tend à prouver que l'échange calcique entre ces derniers est immédiat et total.

Pour les rats femelles, l'équation concernant l'utérus est différente pour le premier terme de celle qui concerne le plasma, ce qui implique que les

échanges entre l'utérus et le plasma adoptent un rythme moins rapide que dans le cas du cœur.

L'équation du muscle strié, établie chez le mâle, se distingue de celle du plasma par la présence d'un terme exponentiel croissant dû à des échanges plus lents entre le plasma et cet organe. D'autre part, comme le calcium des muscles striés correspond à une fraction importante de celui

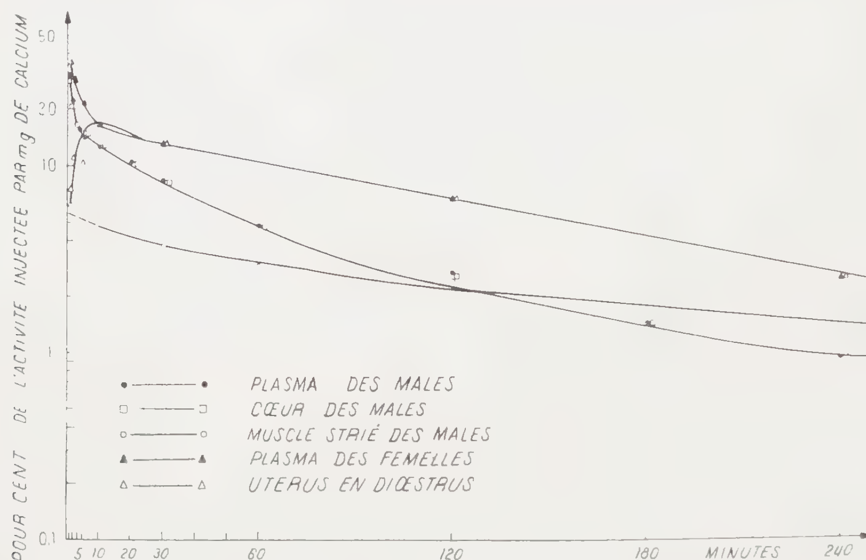


Fig. 2. — Variation de l'activité spécifique du calcium du plasma sanguin, du cœur et du muscle strié chez le Rat mâle de 200 g et du plasma sanguin et de l'utérus chez le Rat femelle de 200 g en diœstrus, de 1 mn à 4 h après injection intraveineuse de ^{45}Ca.

des tissus mous, ses échanges influent notablement sur le second terme de l'équation plasmatique attribué par certains auteurs [6] aux échanges entre plasma et tissus mous. Nos résultats ne nous permettent donc pas d'assimiler les échanges entre plasma et muscles aux échanges entre plasma et tissus mous dans leur ensemble.

Conclusion. — Les échanges calciques entre le plasma sanguin et le cœur, l'utérus et le muscle strié, montrent des modalités différentes; les échanges sont plus rapides pour le cœur que pour l'utérus. Ils sont relativement lents pour le muscle strié. Ces résultats mettent en évidence la diversité de ces échanges dans un ensemble qu'on a tendance à considérer comme uniforme.

(*) Séance du 17 octobre 1960.

(1) Ce travail a été effectué au cours d'un stage au Centre d'Études nucléaires de Saclay.

(2) G. VALETTE, Y. COHEN et H. HUIDOBRO, *J. Physiol.*, Paris, 50, 1958, p. 549.

(3) J. C. STOCLET, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 974.

(4) J. C. STOCLET, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3229.

(5) J. C. STOCLET, *Comptes rendus*, 249, 1960, p. 1834.

(6) J. P. AUBERT et G. MILHAUD, *Biochim. Biophys. Acta*, 39, 1960, p. 122.

(*Laboratoires de Pharmacodynamie, Faculté de Pharmacie, Paris.*)

TOXICOLOGIE. — *Action caryoclasique du N-méthylacétamide à doses élevées chez le Rat.* Note (*) de MM. **Paul Lechat**, **Jacques Browaeys** et **Denis Wallon**, présentée par M. René Fabre.

Le N-méthylacétamide, à des doses de 800 à 8 000 mg/kg par voie sous-cutanée, détermine chez le Rat des lésions caryoclasiques portant surtout sur la moelle osseuse et le testicule. Si l'on compare son activité médullaire à celle d'agents caryoclasiques connus, au voisinage de leur DL_{50}, le N-méthylacétamide apparaît comme l'un des plus puissants, mais il s'en distingue par le fait qu'il ne provoque pas de leucopénie.

Le N-méthylacétamide est un corps peu toxique aux doses habituelles, employé comme solvant de différents médicaments. C'est précisément comme solvant que nous avons été amenés à l'injecter à des doses considérables, et à découvrir son action caryoclasique. Le N-méthylacétamide, additionné de 10 % d'eau, a été injecté par voie sous-cutanée à des rats blancs de 100 à 200 g.

Première série d'expériences. — Le produit a été injecté en une dose unique, respectivement de 800, 1800, 3 600, 5 200, 6 000 et 8 000 mg/kg, ceci pour établir à partir de quelle dose apparaissait l'effet caryoclasique. Les animaux ont été sacrifiés entre la 12e et la 24e heure.

— *Sur la moelle osseuse*, les altérations du noyau (pycnoses, caryorhexis) s'observent chez les myélocytes éosinophiles et neutrophiles, plus rarement chez les érythroblastes; le total des noyaux altérés pour 1000 éléments de chaque lignée est le suivant :

		Cellules à noyau altéré pour 1 000 éléments.		
Dose (mg/kg).	Heure.	Éosinophiles.	Neutrophiles.	Érythroblastes.
800	24^e^	0	0	0
1 800	24^e^	5	0	0
3 600	12^e^	95	14	14
5 200	12^e^	400	23	15
6 000	12^e^	460	146	110
8 000	16^e^	650	380	190

— *Sur le testicule*, on observe dès la dose de 800 mg/kg des pycnoses des spermatogonies, dont le noyau est réduit à un disque noir sans structure. A doses plus fortes, les pycnoses s'étendent aux spermatocytes de premier ordre.

— *Sur l'iléon :* nombreuses pycnoses du chorion avec phénomène d'« excrétion sphérulaire » de Dustin, nombreuses pycnoses et caryorhesis sur les glandes de Lieberkühn.

— *Sur le foie*, la proportion de cellules atteintes est beaucoup moins grande, mais cependant caryorhexis et images de caryolyse s'observent à partir de 1800 mg/kg.

— *Sur la rate*, pycnoses et caryorhexis nombreuses, surtout au centre des corpuscules de Malpighi.

Dans une deuxième série d'expériences, un lot de cinq rats a reçu pendant 20 jours une dose quotidienne de 300 mg/kg, ceci afin d'étudier à la fois l'effet sanguin du produit, et son action toxique éventuelle sur le foie, le rein et la surrénale. Dans ces conditions il ne se produit dans le sang périphérique ni anémie, ni neutropénie, ni même d'éosinopénie significative. Les organes examinés après les 20 injections sont peu altérés : le foie ne présente pas d'altérations nucléaires ni de signes d'hépatite toxique; l'aspect du rein est variable, alors que le testicule reste l'organe le plus touché.

Dans une troisième série d'expériences, trois lots de six rats ont reçu respectivement 3 600, 5 400 et 7 000 mg/kg en une dose unique pour l'établissement de la DL_{50} précoce (24e heure) et tardive (7e jour). Les survivants ont été sacrifiés au 15e jour pour étudier le degré de réversibilité des lésions.

Ces essais nous ont permis de fixer la DL_{50} autour de : 5 400 mg/kg à la 24e heure et 3 600 mg/kg au 7e jour.

Il n'y a pas eu de mortalité ultérieure. L'histologie des animaux sacrifiés au 15e jour a révélé les aspects suivants :

— *Sur le testicule*, régénération certaine, nombreuses spermatogonies normales. Certains tubes sont même remplis par plusieurs assises de spermatocytes et de spermatides. Mais on n'observe pas encore les stades ultérieurs de maturation et il persiste dans certains tubes des monstruosités (cellules géantes à 2, 5 et 7 noyaux).

— *Le foie* est le siège d'une prolifération conjonctive périvasculaire et péricanaliculaire.

— *L'intestin grêle* montre une prolifération intense des glandes de Lieberkühn.

Ayant ainsi établi que le pourcentage de caryoclasies médullaires était considérable autour de la $DL_{50}/24^e$ heure, nous avons voulu comparer cette action à celle de quelques agents caryoclasiques connus autour de leur DL_{50}. Voici les résultats comparés :

Produit.	Dose (mg/kg).	Heure.	Cellules à noyau altéré pour 1 000 éléments.		
			Éosinophiles.	Neutrophiles.	Érythroblastes.
N-méthylacétamide......	5 200	12^e^	400	23	15
	6 000	12^e^	460	146	110
Uréthanne	2 500	12^e^	125	25	30
	1 800	12^e^	12	0	0
Méthyl-bis-β-chloréthylamine.......	2	12^e^	310	6	14
Rayons X.............	2 400 r	12^e^	375	15	10

Le N-méthylacétamide apparaît ainsi comme l'un des agents les plus actifs sur la moelle osseuse. Comme son action s'étend par ailleurs à des cellules aussi différentes que les cellules hépatiques et les spermatogonies, il semble qu'on puisse faire entrer cet amide substitué parmi les substances caryoclasiques.

Des expériences en cours montrent que cette propriété se retrouve également chez le diméthylacétamide et le diéthylacétamide.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(Centre de Recherches de l'Association Claude-Bernard,
47, quai de la Tournelle, Paris, 5e
et Laboratoire de biologie du Centre hospitalier de Versailles.)

PARASITOLOGIE. — *Sur les formes amiboïdes de l'*Ichthyophonus (Ichthyosporidium) hoferi *Plehn et Mulsow*. Note (*) de MM. **Auguste Dorier** et **Charles Degrange**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Les kystes de l'*I. hoferi*, parasite de divers Salmonidés, donnent dans l'intestin d'un sujet infecté expérimentalement des « amiboblastes » puis des formes amiboïdes uni ou binucléées qui sont libérées et se déplacent dans le contenu intestinal.

Malgré les nombreux travaux qui ont été consacrés à ce parasite des Poissons, notamment ceux de Plehn et Mulsow (1911), Pettit (1913), Neresheimer et Clodi (1914), Daniel (1933), etc., son cycle évolutif présente encore des obscurités. Celles-ci sont dues en partie à ce que tous les travaux antérieurs à la découverte faite par L. Leger et E. Hesse ([1]) en 1923 de l'*I.* (*Basidiobolus*) *intestinalis* — espèce non pathogène, commensale du tractus digestif de la Truite et d'autres Salmonidés — peuvent être entachés d'erreur. En effet plusieurs auteurs, notamment Pettit, Neresheimer et Clodi, ont manifestement pris *I. intestinalis* pour un stade d'évolution d'*I. hoferi*.

Au cours de nos recherches sur ce parasite, agent d'une redoutable maladie des Salmonidés d'élevage (Truite arc-en-ciel, Saumon de fontaine), nous avons constaté, en conformité avec ce qui était connu jusqu'ici, que les kystes d'*I. hoferi* subissent après la mort de leur hôte un commencement d'évolution. Celle-ci se manifeste soit par la libération du contenu du kyste sous forme d'un plasmode plurinucléé qui peut se fragmenter ensuite, soit par découpage de la masse interne du kyste en deux ou plusieurs éléments, soit enfin, et c'est le cas le plus fréquent, par germination et production d'un bouquet de filaments ramifiés dont le contenu se condense pour donner, à leur extrémité, des renflements en général arrondis, parfois allongés ou même spiralés, qui finissent par s'en détacher. Mais quel que soit le processus suivi, on aboutit au même résultat : la fragmentation du contenu du kyste en un certain nombre de masses cytoplasmiques plurinucléées atteignant 120 μ de diamètre. Ce stade n'est dépassé ni dans le cadavre abandonné à lui-même ni dans les cultures sur des milieux variés qui ont été tentées par divers auteurs et par nous-mêmes.

Par contre, lors de l'infestation de sujets sains par ingestion de kystes contenus dans la chair ou les viscères de poissons contaminés, ces masses plurinucléées se transforment, par clivage de leur cytoplasme autour des noyaux, en « amiboblastes » contenant des sphérules de 8 à 12 μ. Celles-ci donnent directement des formes amiboïdes qui sont libérées par rupture de la paroi de l'amiboblaste.

Entre la 30e et la 48e heure qui suivent le repas infectieux, nous avons pu observer, *in vivo*, dans le contenu intestinal, ces formes amiboïdes

d'une taille de 3 à 8 × 12 à 16 μ qui s'y rencontrent en nombre considérable. Leur cytoplasme hyalin renferme un ou deux noyaux de 2 à 2,5 μ de diamètre avec caryosome central et un amas d'inclusions sphériques, de nature lipidique, qui roulent les unes sur les autres lors des déformations du corps qui accompagnent le déplacement.

Beaucoup de ces formes amiboïdes ne parviennent pas à franchir la paroi intestinale et sont évacuées avec les excréments. Souvent, après une période active, elles s'immobilisent et prennent une forme sphérique. Elles sont néanmoins reconnaissables grâce à leurs inclusions lipidiques caractéristiques.

Neresheimer et Clodi (²) ont vu des corps amiboïdes en migration dans la paroi de l'estomac de Truites infectées expérimentalement. Ces corps, d'environ 40 μ, colorables par le Giemsa, proviendraient de « sphérules » ayant pénétré dans la muqueuse. Nous estimons qu'il s'agit là de petits plasmodes issus de kystes logés dans la paroi de l'estomac. Par leur taille, leur position, leur colorabilité ces éléments ne peuvent en aucune façon être assimilés aux formes amiboïdes que nous avons découvertes dans le contenu intestinal de sujets infectés expérimentalement et dont nous avons montré l'origine. En outre, les « sphérules » de Neresheimer et Clodi nous paraissent appartenir à des *I. intestinalis* et sont, de ce fait, étrangères au cycle évolutif de l'*I. hoferi*.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(¹) *Comptes rendus*, 176, 1923, p. 420.

(²) *Arch. Protistenk. Jena*, 34, 1914, p. 234.

(*Laboratoire de Zoologie, Faculté des Sciences, rue Hébert, Grenoble.*)

BACTÉRIOLOGIE. — *Comparaison de l'activité bactéricide des histones avec leur pouvoir de floculer certaines protéines.* Note (*) de MM. **Jean Guillaume**, **Jean-Claude Derieux** et **Roger Osteux**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Le pouvoir bactéricide de la fraction riche en arginine des histones est parallèle à leur aptitude à précipiter certaines protéines.

Biserte et coll. [1] ont comparé récemment le pouvoir antibactérien de diverses fractions d'histones. Il nous a semblé intéressant d'étudier les modalités d'action des fractions les plus bactéricides : agissent-elles au niveau des acides nucléiques [2], [3] ou par blocage de certaines chaînes du métabolisme [4] ?

Nos premiers travaux nous ont amenés à comparer le pouvoir bactéricide des histones avec leur propriété de floculer les protéines.

Mode opératoire. — La fraction d'histone riche en arginine utilisée a été préparée à partir de thymus de veau, selon la technique de Daly et Mirsky [5], en suivant le protocole expérimental de Sautière [6]; nous la désignons par le symbole HA. Dans les expériences décrites, nous avons employé la souche d'*Escherichia coli* 36 *Burnet.* Pour l'évaluation du pouvoir bactéricide des HA, une quantité de germes de l'ordre de 10^4 est mise en suspension dans 1 ml de solution d'histone, à pH 6,7, durant 1 h à 37° C; on prélève alors 0,05 ml qu'on ensemence par étalement sur une gélose coulée en boîte de Pétri; les colonies sont dénombrées après 18 h à 37° C. Notre échantillon de HA présente vis-à-vis de la souche 36 *Burnet* un pouvoir bactéricide de 50 % à la concentration de 2,5 μg/ml et de 100 % à la concentration de 5 à 7,5 μg/ml.

Les HA ajoutées en doses croissantes à une solution de fraction V des protéines sériques ou de fraction adialysable de peptone trypsique donnent une combinaison insoluble; les histones en excès dissolvent le précipité, comme l'indique la figure 1. L'addition de protéines à une solution d'histone détermine un phénomène semblable, mais la courbe est plus étalée. Après contact, durant 1 h, de protéines avec des doses croissantes de HA, l'activité bactéricide des surnageants a été essayée; les résultats schématisés sur la figure 1 montrent que les précipités HA-protéine entraînent le facteur bactéricide : pratiquement, dès qu'on atteint le sommet de la courbe de floculation, donc d'épuisement, le pouvoir bactéricide réapparaît dans toute son ampleur et il n'y a plus de germes vivants.

D'autre part, nous avons cherché s'il existait une relation quantitative entre histones et bactéries. Dans l'expérience dont les résultats sont donnés dans la figure 2, nous avons mis en présence d'histones durant 1 h des quantités importantes de bactéries, dont les survivantes ont été comptées après dilutions convenables. Si le nombre de bactéries par microgramme d'histones excède 1.10^6, le matériel actif est épuisé et une partie de la population bactérienne demeure intacte. Dans ce cas, l'addition ultérieure de protéines ne provoque aucune précipitation. Au contraire, si les protéines sont ajoutées à un mélange d'histones et de bactéries

préalablement réalisé en proportions telles que l'effet bactéricide soit total (surface située au-dessous de la ligne pointillée de la figure 2), on observe alors un précipité; cependant, sa densité optique est plus faible que celle prévue par le calcul. Cette constatation est en faveur d'une compétition

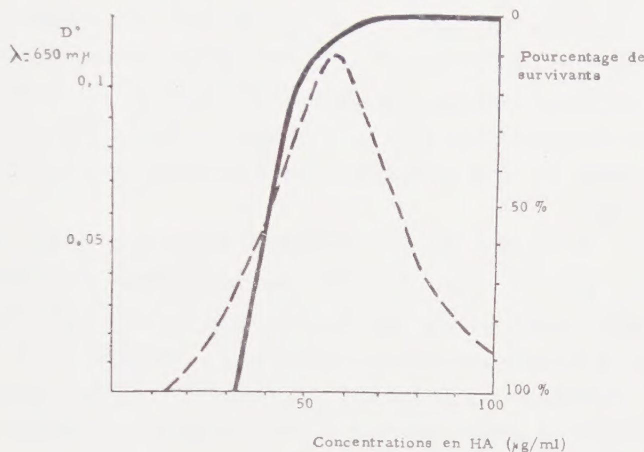


Fig. 1.

En pointillés : courbe de floculation exprimée en densités optiques : 100 μg de protéine par millilitre sont additionnés de concentrations croissantes d'HA. En trait plein : pourcentage de bactéries survivantes après contact avec les mélanges HA-protéine.

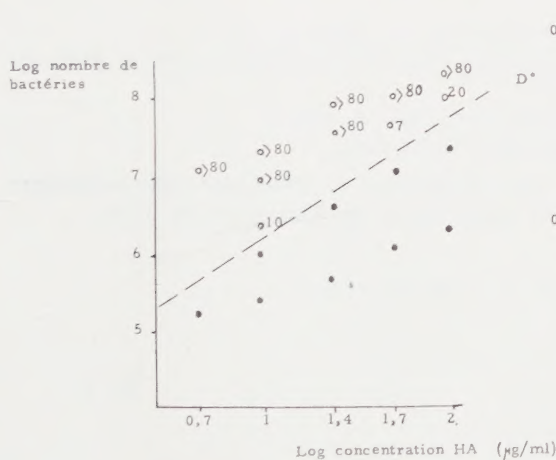


Fig. 2.

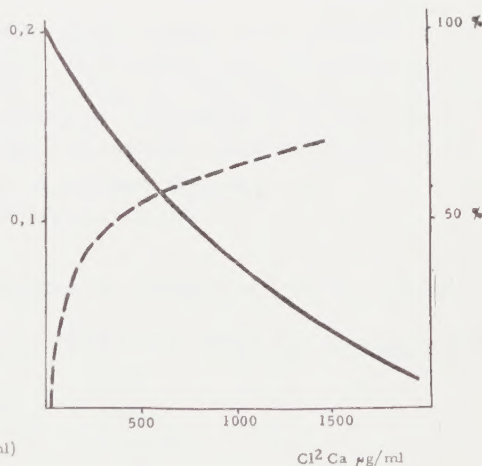


Fig. 3.

Fig. 2. — Quantités variables de bactéries mises en présence de diverses concentrations en HA.

● effet bactéricide total;

○ les nombres indiquent le pourcentage de survivants.

Fig. 3.

En trait plein : précipitation 100 μg/ml d'HA par 250 μg de protéines, en présence de calcium.

En pointillés : pourcentage de bactéries survivantes après contact avec 100 μg/ml d'histone, en présence de calcium.

dans l'affinité des histones, soit pour les bactéries, soit pour les protéines en solution. Afin de préciser cette hypothèse, nous avons étudié l'action de deux facteurs inhibiteurs de la floculation des protéines par les HA.

1° Au-dessous de pH 6,5, la précipitation des protéines par les HA est inhibée et l'on peut considérer que la densité optique du floculat est inversement proportionnelle au pH entre 4,5 et 6,5. De même, l'effet bactéricide des HA diminue avec le pH et il est totalement inhibé à pH 4.

2° Les ions calcium, comme l'a signalé Delaunay (4), lèvent l'inhibition de la respiration bactérienne par les histones : or, la figure 3 montre que le calcium empêche la précipitation des histones et supprime aussi leur activité bactéricide.

Conclusion. — Il existe un parallélisme frappant entre les propriétés bactéricides des HA et leur faculté de précipiter certaines protéines. Il est donc possible que l'action antibactérienne ne soit pas due à l'aptitude des histones à se fixer sur les acides nucléiques, mais plutôt à celle de réagir avec certaines protéines de la paroi : il s'ensuivrait un pouvoir floculant qui serait lui-même la cause directe de l'activité bactéricide et de l'abaissement de la respiration bactérienne.

(*) Séance du 24 octobre 1960.

(1) G. BISERTE, A. TACQUET, H. LECLERC et P. SAUTIÈRE, *C. R. Soc. Biol.*, 153, 1959, p. 1790.

(2) M. HÉNON, M. PELLETIER et A. DELAUNAY, *Rev. Immunol. Thérap. Antimicrob.*, 23, 1959, p. 245.

(3) F. BOCKER et H. GREEN, *Exptl. Cell Research*, 19, 1960, p. 361.

(4) A. DELAUNAY, M. HÉNON et M. PELLETIER, *Rev. Franç. Études Clin. et Biol.*, 5, 1960, p. 187 et *Path. Biol.*, 8, 1960, p. 715.

(5) M. DALY et A. MIRSKY, *J. Gen. Physiol.*, 38, 1955, p. 405.

(6) P. SAUTIÈRE, *Thèse Doctorat en Pharmacie*, Lille, 1959.

(*Institut Pasteur de Lille et Service de Biochimie pharmaceutique de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lille.*)

A 15 h 25 m l'Académie se forme en Comité secret.

La séance est levée à 15 h 35 m.

R. C.